

The
Airgun

from



Trigger



Target



G. V. Cardew & G. M. Cardew

*Пневматическое оружие
от
спускового крючка
до
мишени*

G.V.Cardew & G.M.Cardew

Copyright © G.V. & G.M.Cardew – 1995

Перевод © И.Г.Рогожкин 2003-2004

Эта книга написана одними из наиболее известных экспертов в области пневматики и, возможно, является наиболее серьёзным из когда-либо проведённых исследований пневматического оружия.

Она описывает все стадии работы пневматического оружия, как это следует из названия, от нажатия спускового крючка и до попадания пули в мишень. Каждая глава посвящена какому-то отдельному аспекту или узлу пневматического оружия. Рассмотрена внешняя и внутренняя баллистика пули, включая ошеломляющие фотографии вылетающей пули.

Авторы, отец и сын, оба с детства увлекаются пневматическим оружием. *Gerald Cardew* (67) был независимым консультантом по пневматическому оружию более 18 лет и регулярно пишет статьи, посвященные пневматическому оружию, для различных изданий. *Mike Cardew* (37) дипломированный инженер электронщик.

Оглавление.

Предисловие	5
Глава 1. Введение	6
Глава 2. Четыре фазы	11
Глава 3. Пружина	17
Глава 4. Цилиндр	26
Глава 5. Поршень	30
Глава 6. Манжета поршня	34
Глава 7. Воздух	42
Глава 8. Перепускное отверстие	54
Глава 9. Ствол	60
Глава 10. Отдача	71
Глава 11. Смазка	78
Глава 12. Эффективность	84
Глава 13. Тюнинг пружинно-поршневых винтовок	88
Глава 14. Винтовки на сжатом воздухе	94
Глава 15. Накачка винтовок на сжатом воздухе	97
Глава 16. Выпускные клапана и редукторы	109
Глава 17. Углекислый газ	116
Глава 18. Пули и их тестирование	119
Глава 19. Полёт пули	136
Глава 20. Кучность	158
Глава 21. Измерение скорости	161
Глава 22. Будущее	165
Преобразования единиц измерения	166

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Когда в 1976 году мы написали книгу «The Airgun from Trigger to Muzzle», мы были совершенно уверены, что она не была полным исследованием всех феноменов, связанных с пружинно-поршневой винтовкой, к тому же и проблемы связанные со всеми другими вариантами пневматического оружия не были разобраны в той книге. После публикации мы решили продолжить наши изыскания для достижения истины об этих странных конструкциях. По мере прогресса в поиске и выявлении новых фактов, мы оценили истинность известного выражения: *«Ничто не улучшается, пока кто-либо не остановится и не усомнится в общепринятом мнении»*. Дело в том, что по мере исследований мы часто убеждались в том, что общепринятые истины, казавшиеся верными для пневматического оружия, на самом деле ложны. Возможно, наиболее ярким примером является *«Более длинный ствол оружия увеличивает скорость пули»*. Это верно для огнестрельного оружия, а для пружинно-поршневого уже далеко не всегда.

Данная книга охватывает более широкий спектр знаний, чем предыдущая, включая в себя информацию не только по изучению пневматического оружия, но и по изучению полёта пуль. Кроме того, теперь мы можем описать, почему пружинно-поршневая винтовка может работать в одной из «четырёх фаз», в зависимости от множества факторов. Это понимание четырёх фаз является ключевым для понимания и работы с пружинно-поршневой пневматикой и понимания их переменчивой эффективности.

На первый взгляд, пружинно-поршневая пневматика является весьма примитивной конструкцией, однако реально её работа куда сложнее, чем у других типов пневматического оружия. Существует множество факторов, влияющих на эффективность пружинно-поршневой пневматики и факторы эти зачастую взаимоисключающие, поэтому конструирование пружинно-поршневой пневматики обычно становится поиском балансов и компромиссов. С другой стороны, факторы, влияющие на эффективность других типов пневматики, обычно более понятны и контролируемы и изменение одного фактора приводит к ожидаемому результату без изменений остальных факторов.

С 1976 года произошло значительное развитие в области конструирования пневматического оружия, каждая новая модель была создана для удовлетворения конкретных потребностей, под свою потребительскую нишу. Это многообразие может быть описано выражением *«каждый сверчок знай свой шесток»*¹, полностью соответствующим и этой области. Стало совершенно невозможным назвать лучшее пневматическое оружие, без точного указания целей, ибо то, что является наилучшим выбором в одних условиях может оказаться совершенно бесполезным в других.

В этой книге очень мало внимания уделяется изготовлению пневматических пистолетов, поскольку они редко используются в экспериментах, а их эффективность подобна эффективности винтовок, только несколько ниже. Также слово «weapon»² не будет использоваться, поскольку мы считаем его неприменимым к пневматическому оружию, ибо данное слово подразумевает жесткость и силу.

¹ в оригинале «there are horses for courses».

² им хорошо, они разделяют понятия «airgun» и «weapon». В русском же языке подобрать хороший аналог для слова «airgun» кроме коряво-официального «пневматическое оружие» или разговорного «воздушка» я затрудняюсь.

Глава 1. Введение.

Большинство айрганеров начинает, обычно, именно с пружинно-поршневой пневматики и лишь затем, возможно, переходит на какие-либо другие её разновидности. С учётом этого именно пружинно-поршневая пневматика является вполне логичным началом для книги по пневматическому оружию.

Весьма неожиданным является то, что предмет, на первый взгляд кажущийся простым, при дальнейшем изучении оказывается весьма сложным. Это утверждение в полной мере относится и к пружинно-поршневой пневматике, как мы выяснили, начав изучать её много лет назад.

Проблемы начались с покупки уже не новой «переломки»¹, которая по идее должна была бы показывать довольно неплохую мощность и кучность. Однако, на практике пули летели то выше, то ниже, вызывая сильное раздражение. Будучи исследователями по натуре, да и просто любопытными, мы решили улучшить оригинальную конструкцию путём более тщательной подгонки казённой части ствола. Был отполирован цилиндр и более плотно подогнан казённый ствол. Каждое из этих действий несколько улучшило ситуацию, однако, истинные причины этой проблемы так и остались неясными.

Позже множество винтовок было изучено, несколько куплено и мы могли проверить их характеристики. В каждом случае мы измеряли то, что нас интересовало, стараясь с помощью беспристрастных цифр выяснить, почему одна винтовка лучше другой. Но вскоре мы убедились, что простое измерение физических габаритов не даёт ответа на поставленный вопрос и требуется исследование в других областях.

В то время точные электронные хронографы ещё не были доступны каждому желающему, и мы использовали самодельный баллистический маятник для оценки скорости вылетающих пуль. Но измерять скорость с помощью маятника достаточно долго и неудобно, поэтому мы вскоре собрали хронограф, измеряющий скорость на основе звука вылетающей из дула и попадающей в мишень пули², заодно пристроив к делу старые компьютерные комплектующие. Это бы предшественник тех удобных в обращении хронографов, которые позже продавались в виде промышленных образцов.

В то время мы были очень заинтересованы проблемой, почему столь малая часть энергии пружины передаётся вылетающей пуле. Мы искали в библиотеке книги, которые могли бы помочь нам в решении этой проблемы, но ничего не находили, и эта книга как раз призвана заполнить пробел. Мы надеемся, что в следующих главах читатель найдёт ответы на его собственные вопросы, также, наверное, он сможет лучше понимать физику процессов, происходящих в его винтовке.

Возможно, наиболее фундаментальный вопрос будет: «Зачем вообще нужен воздух?» Ведь существуют луки, метящие стрелы без участия воздуха, катапульты, кидающие камни... Может быть, воздух добавляет энергии или нужен потому, что винтовка имеет ствол, а катапульта нет?! Нет, воздух это всего лишь посредник, который используется для взаимодействия тяжёлого и медленнодвигающегося поршня и лёгкой, быстро летящей пули. Именно разница в весах и скоростях и делает воздух необходимым посредником между пулей и поршнем.

Физика – это предмет с множеством графиков, поэтому читатель должен принять их как необходимость в книге такого рода. Первый из графиков на **рис 1.1** показывает

¹ оригинальное «barrel-cocked», то есть с переламывающимся стволом.

² то же самое, что и у нас – сначала маятник, затем с помощью звуковой карты и датчиков, а дальше уже нормальные хронографы.

соотношение трёх факторов: веса, скорости и энергии пули. Одна из основных целей этой диаграммы – позволить сравнить две винтовки разного калибра, однако, также можно сравнить и две пули разного веса, выпущенные из одной и той же винтовки. Диаграмма делает такие сравнения возможными, преобразуя скорость и вес пули в более обобщённую характеристику – дульную энергию. Дульная энергия это термин, который описывает выходную мощность оружия, ни вес пули, ни её скорость не являются адекватным показателем для измерения мощности, они должны быть объединены в общий показатель дульной энергии для определения мощности оружия.

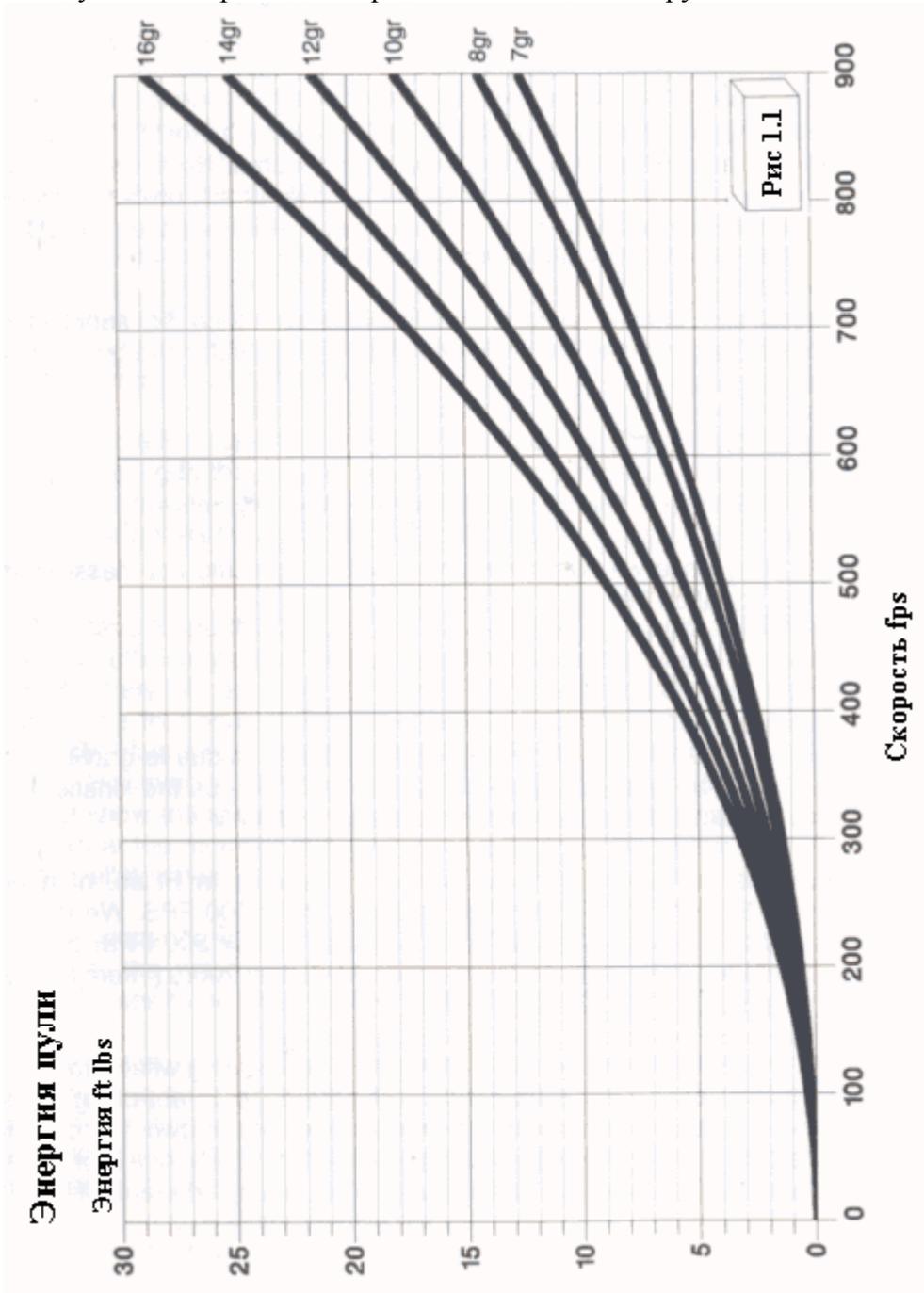


Рис 1.1

Дульная энергия обычно используется в законодательстве, чтобы определить, относится ли данное оружие к огнестрельному или нет¹. В настоящее время в Англии накладываются ограничения на пневматические винтовки, дульная энергия которых превосходит порог в 12 ft·lbs², а на пистолеты – соответственно в 6 ft·lbs³. Такие ограничения были введены ещё в 1969 году, когда мало кто из пневматического оружия преодолевал указанные пороги, однако время идёт, технология развивается, и теперь эти пороги перекрываются современными представителями пневматического оружия довольно легко.

Многие годы производители и спортсмены говорили и, возможно, хвастались скоростью их любимой винтовки. Это вполне уместно в рекламных целях или за стойкой бара, однако, в целях изучения физики процесса без указания веса пули, на которой эта характеристика достигнута, она довольно бессмысленна. Примерно как если бы вы заявили своим друзьям, что вы можете путешествовать со скоростью в 50 миль в час. Это утверждение будет бессмысленным, пока вы не уточните, достигли вы этого результата на роликовых коньках или на мотоцикле. Вес настолько же важен, насколько и скорость, но этот факт часто не замечают⁴.

Для определения энергии любого метательного тела, необходимо его сначала взвесить, а потом замерить скорость его движения. Обычно скорость замеряется на расстоянии 6 футов от дульного среза или около того, поскольку на этом расстоянии метательное тело имеет наибольшую скорость и случайные выбросы газа из ствола уже оказывают минимальный эффект на результат измерения.

Эти два параметра – вес и скорость – можно затем подставить в хорошо известное ньютоновское уравнение для кинетической энергии, которое описывает кинетическую энергию движущегося тела:

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2$$

Где E=Energy (энергия), M=Mass (масса), V=Velocity (скорость).

Поскольку мы имеем дело с весом, а не массой, то мы должны преобразовать уравнение к виду:

$$E = \frac{W \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Где W =weight (вес), а g = ускорение свободного падения. В этой книге оно принято за 32.16 FPS². Это уравнение⁵ даёт нам кинетическую энергию, которую имеет метательное тело, движущееся со скоростью V.

Допустим, мы хотим посчитать энергию в футо-фунтах для пули весом 14.5 гран, летящей со скоростью 500 FPS. Мы должны использовать вышеприведённое уравнение, где W=14.5 гран, V=500 FPS, g=32.16 FPS². Для преобразования гран в фунты необходимо разделить число на 7000 (в одном фунте 7000 гран). В итоге получим **E=8.05 Ft·lbs**.

¹ видимо, в стране проживания авторов мощная пневматика приравнивается к огнестрельному оружию. В России же пока есть лишь разделение на свободную продажу и продажу по лицензии. Хотя эта лицензия и получается почти как на огнестрельное оружие, всё же так называемую «охотничью пневматику» никто непосредственно к огнестрельному оружию не приравнивает.

² это около 16 Дж

³ примерно 8Дж.

⁴ Тут я позволю себе небольшую поправку – в литературном плане всё верно, но с точки зрения физики, энергия ведь считается как $E = m \cdot V^2 / 2$, т.е. зависимость от веса линейная, а от скорости квадратичная.

⁵ Формально всё верно, но вот в России я что-то не припомню весов, которые бы показывали действительно вес, т.е. силу в ньютонах (если вести речь о системе единиц СИ). Обычно показывают уже массу в килограммах, граммах и т.п. Т.е. это преобразование кажется мне излишеством. Хотя формально можно переводить граны сначала в вес в ньютонах, а потом уже в массу в килограммах.

Стоит немного пояснить, что же такое футо-фунт по сути. Как видно из названия, это комбинация двух терминов: фута – меры длины и фунта – меры веса, при объединении их вместе получаем единицу энергии. Физический смысл этой единицы в том, что этого количества энергии достаточно чтобы поднять массу в 1 фунт на высоту 1 фут.

Когда масса в 1 фунт удерживается на высоте в 1 фут, то можно сказать, что она имеет 1 футо-фунт потенциальной энергии. Другими словами, она содержит 1 футо-фунт энергии, которая может быть высвобождена когда-либо в будущем. С другой стороны, если эту массу отпустить, то она упадёт на землю, по ходу падения преобразуя потенциальную энергию в кинетическую, которая затем, возможно, будет поглощена путём проделывания дырки в полу.

Эту энергию не стоит путать с её бытовым, повседневным аналогом. Для кого-то просто стояние в течение часа с двадцатью фунтами в каждой руке может оказаться очень тяжёлым трудом, хотя с точки зрения физики мы не совершаем какой либо работы, а просто удерживаем вес, что не является работой с точки зрения ньютоновских законов.

Разумеется, в процессе стрельбы мы имеем дело не с таким простым примером, как тело падающее вертикально на землю, а с пулей, летящей более-менее горизонтально. Тем не менее, ньютоновские законы вполне применимы и в этом случае.

В ходе наших исследований пружинно-поршневых винтовок мы выяснили, что КПД у среднестатистической винтовки в условиях отсутствия дизелирования¹ не превышает 30%. Это означает, что из каждого футо-фунта энергии, запасённой в сжатой пружине, лишь треть будет передана вылетающей пуле. Причины столь низкого КПД были исследованы и будут приведены в последующих главах. Однако, для понимания функционирования пружинно-поршневой винтовки необходимо ответить на ряд вопросов типа:

- Какова последовательность событий в процессе выстрела?
 - Начинает ли пуля движение в момент наивысшего давления?
 - Останавливается ли поршень до или после вылета пули из ствола?
- и прочие подобные вопросы.

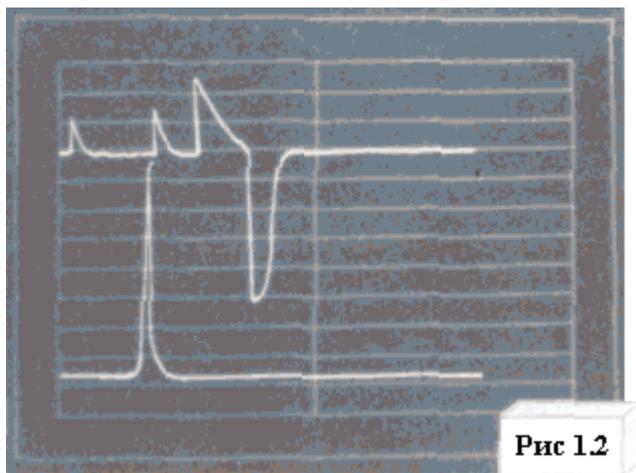
Последовательность событий была установлена с помощью следующего метода: поршень и некоторые другие детали двигались по линейке из фотодатчиков и полученные электрические импульсы отображались на экране осциллографа **рис 1.2**.

Начало движения поршня, его остановка, начало движения пули, её вылет из 18-дюймового ствола – всё это порождало соответствующие электрические импульсы и отображалось на осциллограмме верхнего сигнала. Провал на этом графике как раз соответствует остановке поршня. Нижний же график показывает изменения давления в цилиндре, правда, измеренные некалиброванным датчиком.

Первый всплеск на верхнем графике соответствует началу движения поршня после нажатия на спуск, второй всплеск соответствует началу движения пули, третий всплеск соответствует вылету пули из ствола и четвёртый (отрицательный) всплеск соответствует остановке поршня у дна цилиндра.

Подытоживая сказанное в предыдущем абзаце, последовательность событий в процессе выстрела такова: стартует поршень, затем стартует пуля (заметим, что это происходит в момент пикового давления), затем пуля вылетает и, наконец, поршень останавливается у передней стенки цилиндра. В последующих главах мы покажем, что поршень подходит очень близко к передней стенке цилиндра в момент наивысшего давления, однако, затем отражается обратно из-за высокого давления в воздушной подушке перед ним.

¹ Подразумевается эффект дизеля, т.е. самовоспламенение масла при резком повышении давления



Следует помнить, что многие процессы, описываемые в этой книге, происходят на очень большой скорости. Например, временная шкала приведённой выше осциллограммы составляет всего лишь 50 миллисекунд, т.е. 50 тысячных секунды. Таким образом, общее время от старта до остановки поршня получается около трети от этой шкалы, т.е. примерно 17 миллисекунд. Это следует из того, что весь цикл событий завершается на первой трети графика, отображённого осциллографом. (За это время пуля, движущаяся со скоростью 500 FPS, покрывает расстояние в восемь с половиной футов!)

Также во многих главах читатель выяснит, что существует ряд противоречивых эффектов, и небольшое изменение одного из параметров может оказать заметное влияние на общую эффективность винтовки. Настройка этих факторов будет обсуждено в главе «Тюнинг», но эти вариации как раз и являются причиной притягательности пружинно-поршневых винтовок для аирганеров.

Глава 2. Четыре фазы.

Как было указано в предыдущей главе, пружинно-поршневая винтовка является достаточно сложным механизмом. Хотя на первый взгляд и кажется, что это всего лишь обычный воздушный насос, приводимый в действие пружиной и укрепленный на деревянном ложе, – на самом деле всё далеко не так. Например, в самом начале наших исследований мы считали, что смазка необходима только для смягчения работы механизма винтовки, пока не убедились, что его избыток вызывает дизелирование. Также из соображений здравого смысла мы полагали, что установка более мощной пружины, очевидно, обязана привести к повышению скорости, также как и полировка цилиндра с целью уменьшения трения также должна приводить к повышению скорости. Однако, время шло, мы набирались опыта, экспериментировали со многими винтовками и потихоньку стали понимать, что методы, казавшиеся нам очевидным путём для улучшения характеристик винтовки, зачастую в реальности приводят к прямо противоположному результату. Это было чем-то похоже на жизнь Зазеркалья, когда всё отражается наоборот.

Одна или две больших неудач заставили нас критически пересмотреть всё то, что мы узнали, и что мы пытались делать и затем привели нас к выводу, что проблема в целом гораздо сложнее, чем мы предполагали и поэтому мы предположили наличие четырёх основных фаз, описывающих процесс выстрела¹. Мы назвали эти фазы *Blowpipe*, *Poppun*, *Combustion* и *Detonation*². Использование этой теории дало ответы на многие вопросы, в частности на вопрос, почему две одинаковые модели винтовок могут показывать разный результат в зависимости от наличия смазки или обтюрации пули. В течении последующих лет мы убедились в правильности этой теории, поскольку с её помощью нам удалось решить многие проблемы с пружинно-поршневыми винтовками. Или, по крайней мере, если и не решить, то выяснить источник проблемы.

Фаза 1 – *Blowpipe*.

Эту первую фазу мы окрестили *Blowpipe*, поскольку на этом этапе оружие напоминает, по сути, паяльную лампу: пуля лежит в стволе ещё не плотно его перекрывая и позволяя воздуху протекать мимо. Эта фаза является нормой жизни для относительно слабых винтовок и пистолетов или же для пневматики, стреляющей стальными ВВ шариками. Такая пневматика, стреляющая ВВ шарами, редко делается с нарезным стволом³ и шарик не плотно прилегает к стенкам ствола и нередко даже фиксируется в казённой части с помощью магнита или какого-либо другого способа, чтобы шарик случайно не выкатился до выстрела.

Поскольку шарик в стволе ВВ пневматики сидит неплотно и не обеспечивает должной герметичности, то поршень не может создать высокое давление до начала движения шарика и поэтому итоговая скорость его вылета относительно невелика. В таких слабосильных пистолетах (и иногда винтовках) пулю необходимо пропихивать немного вглубь ствола от казённика, чтобы во-первых, убрать затраты энергии на впихивание пули в ствол, а также, что более важно, для гарантии, что пуля всё же вылетит, а не застрянет⁴.

¹ Может быть, стоило назвать их как-то по-другому, но в английском оригинале это именно phases. Хотя они в основном взаимоисключают друг друга, а не являются четырьмя фазами одного выстрела.

² Я затрудняюсь с адекватным переводом названия фаз, поэтому решил, что проще оставить их как есть.

³ Авторы явно не общались с продукцией ИжМеХа :о)

⁴ Хотя в случае с очень слабой пружиной пуля вполне застревает в стволе и будучи продвинутой от казённика на некоторое расстояние. Но это уже редкость.

Данная фаза актуальна для винтовок и пистолетов с очень малой мощностью, в основном это оружие для подростков. Ранее подобные винтовки продавались чуть ли не в скобяных лавках, однако, сейчас этот класс оружия практически исчез, за исключением специально сконструированных под ВВ винтовок. Кроме того, «балаганные» винтовки для стрельбы дротиками по мишени также являются хорошим примером применения этой фазы. Да и модный ныне *SoftAir* (стрельба легкими пластиковыми шариками из копий реального оружия) также активно использует эту фазу. Однако, заострять внимание на этой фазе мы не будем, поскольку она не представляет особого технического интереса. Если цилиндр достаточно большой, а ствол достаточно длинный, то такая «винтовка-переросток» может даже выдавать вполне приличные характеристики, с чем мы и переходим к следующему параграфу.

Также можно упомянуть и туземное оружие¹. Это, возможно, наиболее интересный, эффективный и изощрённый пример оружия, стреляющего с помощью воздуха, который нам известен. Калибр, вес и очертания метательной стрелки подбирались методом проб и ошибок в течение многих веков, в соответствии с длиной трубки и мощностью лёгких стреляющего. В итоге получилась совершенно удивительная вещь, с которой туземные охотники добывают себе пищу и, кроме того, доверяют свою жизнь и жизнь своих близких. Т.е. это серьёзное оружие для охоты, а не для забавы. Изготовление самой трубки очень нелёгкий процесс, который заставляет изумиться мастерству и опыту людей, создающих такие трубки, а тем более, если учесть отсутствие какого-либо оборудования для их изготовления. Длина и калибр трубки должны быть выбраны очень точно, чтобы стреляющий мог поддерживать необходимое избыточное давление, разгоняющее вылетающую стрелку, на всём протяжении трубки. Также вероятно, что по ходу использования такого оружия всю жизнь, стрелок обязательно разовьёт свои лёгкие, примерно как это делают современные стеклодувы.

Фаза 2 – Popgun.

Эта фаза наиболее хорошо описывает ситуацию, когда пуля плотно сидит в казённом стволе, а также не происходит дизелирования смазки в процессе выстрела. Однако следует признать, что название мы выбрали не очень удачное – никто не станет всерьёз называть свою дорогую матчевую винтовку пугачом². Тем не менее, этот термин наиболее точно описывает пружинно-поршневую пневматику, работающую только за счёт сжимаемого воздуха, без дизелирования. Эта фаза лучше других подходит для точного физического анализа, и по сути именно она рассматривалась в нашей предыдущей книге «The Airgun from Trigger to Muzzle». Каждая компонента пружинно-поршневой системы и её работа будет подробно рассмотрена и проанализирована в последующих главах, а также будет рассмотрено её влияние в других фазах. Винтовка, стреляющая в этом режиме, показывает весьма стабильную скорость, однако, эта скорость ниже, чем в случае использования той же винтовки, но с эффектом дизелирования. Для успешной работы винтовки в этом режиме необходимо высокое качество изготовления многих её компонент, например, казённая часть ствола должна быть строго фиксированного радиуса, чтобы гарантировать стабильный сдвиг пули в точно выбранный момент при выстреле. Также манжета поршня должна быть весьма качественной, чтобы стабильно сжимать воздух при каждом выстреле и не пропускать смазку при взводе винтовки.

¹ Имеются в виду духовые трубки со стрелами, довольно популярные у многих диких племён

² Popgun=пугач

Пружинно-поршневые винтовки, используемые на соревнованиях высокого уровня, работают именно в этом режиме и способны демонстрировать высокую стабильность начальной скорости пули, с разбросом всего лишь в пару FPS. Однако, пользователи часто пренебрегают требованиями инструкции, по которым не должно быть излишков смазки на рабочих частях винтовки. По инструкции не должно быть излишков смазки, которые могли бы попасть мимо манжеты в цилиндр винтовки и таким образом изменить режим её работы.

Название *popgun* было дано этой фазе потому, что когда мы нажимаем на спуск, поршень устремляется вперёд, повышая давление перед собой, и, соответственно, за пулей, до тех пор, пока это давление не станет достаточным чтобы сдвинуть пулю с места и погнать её через ствол. Этот процесс очень напоминает вылет пробки из пугача, когда давление за ней становится выше критического. Конечно, воздух при сжатии ещё и нагревается, что приводит к ещё большему повышению давления за пулей, пока она не сдвинулась из казённого ствола. Однако, когда пуля начинает двигаться, воздух расширяется, охлаждается и энергия его нагрева теряется, оставляя только энергию пружины, которая гонит пулю дальше.

Как интересный факт из истории можно привести пример изобретателя в области огнестрельного оружия *Samuel Pauley*, он в 1814 году получил патент на систему, в которой порох в патроне воспламенялся от горячего воздуха, нагревавшегося от сильного сжатия в маленьком цилиндре с помощью поршня и пружины.

Фаза 3 – *Combustion*¹.

Эта фаза характерна тем, что именно так работает большинство спортивных пружинно-поршневых винтовок с высокой дульной энергией. Когда поршень движется вперёд в момент выстрела, температура воздуха перед ним повышается по мере сжатия. Это приводит к тому, что смазка или любое другое горючее вещество воспламеняется и таким образом ещё больше повышает давление, давая достаточно энергии для вылета пули из ствола с высокой скоростью. Поскольку воспламенение непосредственно связано с повышением температуры от сжатия, то мы сначала называли эту фазу «фазой дизельного двигателя», однако, позже мы столкнулись с проблемой разделения этой фазы и следующей и в итоге пришли к текущему, более описательному названию.

Поскольку конечное давление зависит от количества и характеристик горючего вещества, то очевидно, что полной стабильности добиться от такого режима сложно, поскольку процесс появления смазки или другого горючего вещества в цилиндре процесс переменчивый и непредсказуемый. Таким образом, дульная скорость пули для этой фазы менее стабильна, чем для фазы *popgun*, но этот недостаток стабильности при условии большей скорости не очень важен при стрельбе на длинные дистанции. Как и для многих других характеристик пневматического оружия, здесь необходимо искать компромисс между противоречивыми требованиями.

Фаза 4 – *Detonation*.

И наконец, фаза *detonation*. Это довольно трудный случай для изучения, поскольку этот феномен довольно редко встречается, но когда он всё же происходит, результаты могут быть катастрофическими. Экспериментирование с этой фазой может привести к необратимым повреждениям винтовки. Насколько мы понимаем этот процесс, он происходит при наличии избытка горючего вещества перед поршнем. Сначала начинается

¹ Combustion=горение

обычное горение, которое затем вызывает цепную реакцию и всё горючее вещество детонирует. Детонация это мгновенная перегруппировка молекул, вызывающая большое повышение температуры и давления. Когда она происходит, – выделяется большое количество энергии. Хорошим примером детонации может служить пример удара по пистону для детского игрушечного пистолета. Энергия в виде тепла, света и звука выделяется при мгновенном расширении газов. Наши наблюдения также показали, что детонация в пневматическом оружии зависит и от температуры окружающей среды – в горячие дни она возникает куда чаще, чем в холодные, а также и от типа используемой смазки.

Отвлечёмся немного от пневматического оружия и вспомним про огнестрельное. Детонирующее вещество совершенно бесполезно в качестве метательного заряда, однако, небольшое его количество необходимо в каждом патроне для воспламенения основного метательного заряда. Но если весь патрон будет набит детонирующим веществом, то это, вероятно, приведёт к повреждению оружия, поскольку давление вырастет слишком быстро, не дав времени пуле двигаться по стволу. Этот процесс полностью противоположен классическому выстрелу из старых ружей, использующих чёрный порох. Даже звук выстрела у них совсем другой, более растянутый по времени.

Многие годы назад, когда ещё не было современного бензина и смазочным материалов, двигатели внутреннего сгорания надо было чистить от нагара каждые несколько тысяч миль. Это происходило потому, что сгорание масла или бензина образует нагар на поршне и стенках цилиндра. Этот нагар уменьшает объём цилиндра и, одновременно, повышает степень сжатия, что может привести к работе по принципу дизельного двигателя, когда смесь будет воспламеняться просто от сжатия. Это в свою очередь приводит к тому, что воспламенение происходит раньше времени и возникают паразитные ударные нагрузки на двигатель, сопровождающиеся соответствующими звуками. Соответственно мощность двигателя при таких условиях работы тут же сильно падает.

Детонация в пневматическом оружии приводит к очень резкому росту давления в цилиндре, что иногда может привести к существенному раздуванию его стенок. Кроме того, сам поршень начинает двигаться в обратном направлении, против пуржины, иногда снова становясь на взвод, а иногда просто ломая спусковой механизм. В то же время, пуля покидает ствол с очень высокой скоростью, часто с коротким хлопком, достаточно громким, чтобы потом звенело в ушах, с облаком дыма и, иногда, со снопом пламени или искр из ствола. Однако, несмотря на то, что обычно пуля вылетает с очень большой скоростью, иногда она вылетает даже медленней, чем обычно. Во многих случаях быстрый возврат поршня заставляет винтовку резко дёргаться, кроме того, как правило, страдает пружина, поскольку её витки поджимаются ближе друг к другу. Это может привести к снижению запасаемой в пружине энергии и, таким образом, к снижению мощности винтовки в будущем.

Несколько лет назад была попытка использовать детонацию в винтовке *Weihrauch HW35/Barracuda*. Небольшое количество детонирующего вещества (производной эфира) впрыскивалось в цилиндр перед каждым выстрелом с помощью небольшого насоса на цилиндре. Как и в других случаях детонации, результат был непредсказуем, и от этой системы отказались. История умалчивает о повреждениях пружины при использовании такого жестокого метода.

Детонацию часто называют «дизельным выстрелом» или говорят, что винтовка дизелирует. Мы выяснили, что это не совсем правильно, поскольку как мы выше объяснили, в дизельном двигателе происходит контролируемое и достаточно аккуратное воспламенение смеси от сжатия. Аналогично и в патронах огнестрельного оружия воспламенение происходит достаточно медленно, чтобы пуля успела разогнаться в стволе.

Однако, «дизельный выстрел» имеет все признаки детонации – силу, звук, дикую отдачу и искры. Вообще мы теперь рассматриваем термин «дизель» как синоним детонации.

Несмотря на то, что все фазы были описаны как нехависимые процессы, в реальности вполне возможно, что одна и та же винтовка будет поочерёдно демонстрировать все фазы. Например, если исходно в винтовку положить смазку с большим избытком, то она будет работать в фазе *detonation*, далее, когда часть смазки прогорит и остаток будет незначительным, винтовка перейдёт на следующую фазу – *combustion*. Если будем продолжать стрелять дальше, не пополняя количество смазки, то через некоторое время может настать ситуация, когда весь избыток смазки прогорит и винтовка станет работать в фазе *popgun*. И если использовать пули меньшего калибра или просто некачественные, то может получить и фазу *blowpipe*. Соответственно, потом этот процесс можно провести и в обратном направлении, пополняя количество смазки в винтовке.

Эксперимент с азотом.

При сравнении фаз *popgun* и *combustion* у нас возникло сомнение, не является ли повышенная скорость пули на фазе *combustion* результатом просто снижения трения при наличии смазки. Мы склонялись к мысли, что чистая кожаная манжета при трении о цилиндр может сильно снизить энергию выстрела. Мы провели много экспериментов (некоторые из них были довольно странными) в надежде разделить энергию горения и энергию пружины. Мы разбирали винтовку, промывали от смазки и собирали обратно используя в качестве смазки графитовый порошок и всё равно при выстреле оставался запах выхлопа, даже в полностью чистой винтовке всё равно что-то оставалось, что могло гореть и давало запах выхлопа при выстреле даже специально обезжиренными пулями.

В конце концов, мы провели эксперимент с азотом. Винтовка *Weihrauch HW35* калибра 0.22 была полностью разобрана, обезжирена, затем было наложено небольшое количество смазки и винтовку отстреляли через хронограф до тех пор, пока не установилась стабильная скорость в 636 FPS при стрельбе пулей 14.4 гран. Это соответствует энергии в 12.9 ft·lbs¹. Затем мы поместили винтовку и пули в большой пластиковый пакет и откачали оттуда воздух вакуумным насосом и оставили в таком виде на полчаса, чтобы остатки воздуха вышли из кожаной манжеты и прочих мест. Пакет был герметично зажат на стволе винтовки, а в дульный срез была вставлена герметичная пробка. Затем в пакет накачали азот, который является инертным газом и не поддерживает горение. После чего произвели несколько выстрелов из винтовки, естественно, вынимая пробку из дула перед выстрелом, так что небольшое количество кислорода могло попасть в систему. В таком виде винтовка показала скорость 426 FPS и энергию 5.8 ft·lbs².

Таким образом, как только мы устранили горение с помощью азота, мощность винтовки резко упала, и она стала выдавать примерно 45% от исходной энергии, т.е. примерно половину, без какого либо изменения характеристик смазки. Как только винтовку вынули из пакета на воздух, её характеристики тут же восстановились, скорость вылета пули вернулась к исходному значению. Этот эксперимент показал, что смазка является не только средством снижения трения, но также и даёт дополнительную энергию при сгорании.

¹ Т.е. винтовка калибра 5.5мм, масса пули 9.3 грамма, скорость пули 194 м/с, энергия 17.5 дж.

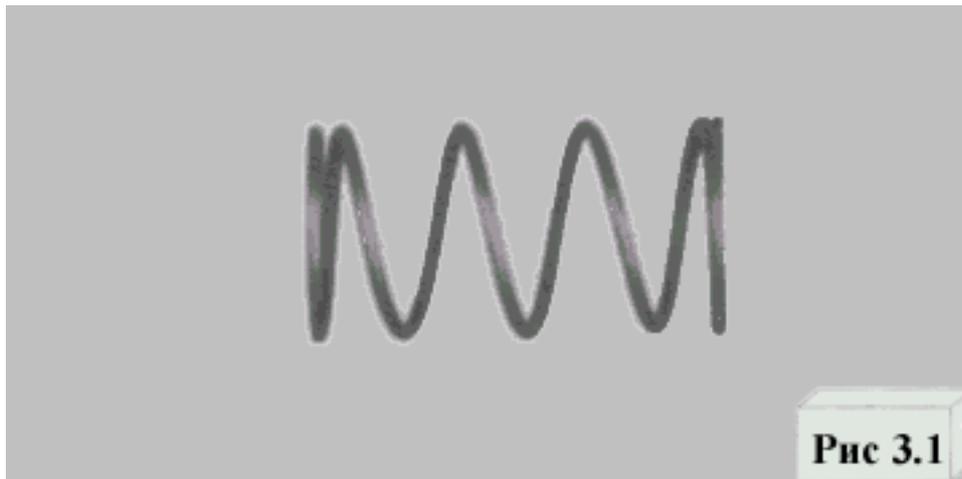
² Для той же пули, скорость 130 м/с, энергия 7.86 дж.

Все факты и аргументы, относящиеся к четырём фазам, одинаково применимы как к пружинно-поршневым винтовкам, так и к пружинно-поршневым пистолетам. Несмотря на то, что в пистолетах пружина обычно слабее, площадь поршня там тоже меньше, что в итоге даёт приблизительно такое же давление и возможность возникновения любой из четырёх фаз.

Глава 3. Пружина.

Определение пружины – «устройство для хранения энергии». Во взведенной винтовке потенциальная энергия, условно говоря, хранится в виде упругой деформации, поскольку она аккумулируется скрученными витками проволоки пружины. Это легко понять, взглянув на **рис 3.1**.

Представим, что же происходит при сжатии пружины. Каждый виток скручивается до тех пор, пока не ляжет вплотную к соседним виткам, при этом энергия, необходимая на скручивание, запасается внутри проволоки. Эта потенциальная энергия может преобразовываться в кинетическую энергию, когда пружина освобождается и гонит поршень вдоль по цилиндру.



Однако, обычно существует предел упругой деформации, то есть предел скручивания витков проволоки, пока они после освобождения восстанавливают форму, а не становятся деформированными навсегда. Например, представим ту же пружину, но с витками расположенными дальше друг от друга. Соответственно, такую пружину можно сильнее сжать, пока её витки не начнут соприкасаться. Однако, такое сжатие, вероятно, приведёт уже к необратимой деформации, пружина обратно уже не восстановится. Это происходит оттого, что материал был, условно говоря, «перегружен». Большинство пружин в пневматическом пружинно-поршневом оружии работает в режиме, близком к максимально эффективному. При максимальной сжатии пружины нагрузка на материал обычно близка к максимальной, при которой ещё не происходит необратимых деформаций или поломки пружины. Соответственно получить добавочную энергию из этой же пружины практически невозможно.

Из-за этого производители пружин вынуждены обеспечивать не слишком большое расстояние между витками, несмотря на заманчивую перспективу увеличить запас хранимой энергии (*Energy Storage Capacity – ESC*). Каждый из габаритов пружины влияет на количество энергии, которое может запастись пружина: дистанция между витками, диаметр проволоки, диаметр пружины и, более всего, материал, из которого она изготовлена.

Пружины для пружинно-поршневой пневматики делаются из проволоки, которая уже обработана и закалена до наиболее оптимальной твёрдости, если твердость будет избыточной – пружина быстро сломается, если же жёсткость будет недостаточной, то пружина сплющится при первом же взведении. Для навивки пружины проволока прокатывается между тремя роликами, расположенными в виде треугольника, притом под такими углами, чтобы обеспечить навивку пружины с нужным шагом. Это потрясающее

зрелище видеть, как проволока прокатывается между роликами и закручивается в бесконечную пружину, пока её автоматически не обрежут, и не начнёт выходить из роликов следующая пружина. Это непрерывный процесс, поскольку проволока сматывается с большой катушки, которая может содержать огромное её количество. Каждая пружина наматывается с немного большим шагом, чем нужно, что приводит к увеличению длины пружины по сравнению с той длиной, которую мы могли бы ожидать при покупке пружины в магазине.

Концевые витки пружины поджимаются в навивочной машине перед отрезанием от следующей пружины, затем пружины проходят через процесс снятия напряжений – то есть пружину нагревают до 300-400°C примерно в течении получаса, что позволяет снять локальные напряжения, возникающие в процессе навивки пружины. После этого пружина попадает в специальный механизм, который зашлифовывает её концы, чтобы пружина качественно и ровно прилегал к поршню или заднику винтовки.

Существует множество технической литературы посвященной именно пружинам, но ни одна из них не рассматривает пружины для пружинно-поршневой пневматики. Это происходит потому, что параметры наших пружины сильно отличаются от параметров обычных пружин – по всем стандартам они получаются сильно перегруженными и поэтому лишь несколько специализированных фирм занимаются производством пружин для пружинно-поршневой пневматики.

Большинство пружин для пневматического оружия делается из высококачественной проволоки марки **BS5216** или **BS2803**. Это наиболее популярные материалы для промышленного изготовления пружин, хотя, разумеется, существует множество других материалов, из которых также можно навивать пружины – нержавеющая сталь для случая коррозии или бериллиево-медный сплав для немагнитных пружин. Нас часто спрашивали, не существует ли более качественного сплава для пружин, пусть более дорогого, но зато дающего лучшие характеристики в плане накопления энергии в пружине. Насколько мы в курсе, такие материалы существуют, однако, поскольку они практически недоступны рядовому пользователю, то трудности по их приобретению и изготовлению из них пружины, скорее всего, не оправдаются незначительным приростом энергетики созданной пружины.

Нередко на рынке появляются пружины из проволоки квадратного сечения, в отличие от обычного круглого сечения. Мы провели сравнительное исследование свойств таких пружин и выяснили, что их свойства находятся на уровне их аналогов из проволоки круглого сечения. Однако мы встретили несколько экземпляров с перекрученной проволокой, то есть проволока была направлена острыми гранями внутрь, на направляющую, и наружу, на поршень. И эти грани царапали поршень и направляющую при каждом взводе и выстреле. Такая пружина при долгой эксплуатации приводит к повреждению поверхности поршня и направляющей, а также к попаданию металлической стружки внутри винтовки.

Существует ещё один способ уменьшения риска поломки пружины при стрельбе – это так называемый метод «насечки». Пружина обстреливается потоком мелких стальных частиц, диаметром около 0.6мм со скоростью около 50м/с. Это даёт эффект уменьшения напряжений на поверхности пружины и понижает риск излома, а также делает поверхность пружины слегка шершавой. Дальнейший процесс снятия напряжений проводится с помощью нагрева до 200-250°C примерно на 30 минут. Оправдывается ли этот процесс (и соответственно более высокая стоимость пружины) несколько меньшим риском её излома – вопрос спорный. Другое дело, что этот процесс полностью оправдан, например, в случае пружин для клапанов автомобиля – они не столь нагружены, как пружина в пружинно-поршневой пневматике, но зато должны выдерживать гораздо больше циклов сжатия-разжатия, тут уже понижение риска излома весьма важно.

А теперь вернёмся к вопросу о длине пружины, ибо как упоминалось выше, пружина после выхода из навивочной машины несколько длиннее, чем та, что мы покупаем в магазине. Избыточная длина корректируется с помощью процесса, называемого «*scragging*»¹. Пружина надевается на стержень и сжимается до тех пор, пока её витки не соприкоснутся. После этого она освобождается и должна вернуться уже к нужной длине, а не к начальной избыточной, и эта длина должна далее сохраняться в процессе эксплуатации, пока пружина не «сядет» от долгой эксплуатации или же от детонации. Величина избыточной длины после навивки – результат долгих экспериментов и сильно зависит от материала, из которого изготовлена пружина. Если производитель пружин не сможет обеспечить нужного избытка длины, то готовая пружина будет неправильного размера, что неблагоприятно скажется на запасе хранимой ею энергии.

Основные габариты пружины сильно влияют на её жесткость и количество запасаемой энергии. Например, если увеличить диаметр проволоки, из которой навита пружина, в два раза, то жесткость пружины возрастет примерно в 16 раз при неизменных остальных параметрах. Если же в два раза увеличить диаметр самой пружины, то её жесткость возрастет всего лишь в 8 раз. Если же количество витков пружины удвоить при неизменной длине всей пружины, то её жесткость понизится примерно в два раза. И, наконец, материал, из которого изготовлена пружина, является наиболее существенным фактором, влияющим не только на силу, но и на живучесть пружины. И, наконец, стоит отметить, что чем выше жесткость пружины, тем больше будет она запасать энергии, то есть тем выше будет её коэффициент *ESC*.

Вычисление мощности пружины.

Поскольку энергии в пневматическом оружии заметно меньше, чем в огнестрельном, то очень важно знать, какая энергия хранится в сжатой пружине и насколько эффективно она передается пуле при выстреле. Измерить энергию, запасенную в пружине взведенного оружия несложно, но следует помнить, что это число (*ESC*) будет верным только для данной комбинации пружины и винтовки. Та же пружина, но в другой винтовке уже может показывать совершенно другой результат, поскольку размер сжатой и разжатой пружины может отличаться, а он сильно влияет на количество запасаемой энергии.

Среднее количество запасаемой энергии лучше всего определяется с помощью графика, построенного по характеристикам пружины **рис 3.2**.

Наиболее проблематичной частью анализа пружины является определение её длины при двух известных нагрузках, например, в 100 и 200 фунтов². Как только две эти длины найдены, остальное уже несложно. Величина веса выбирается исследователем достаточно произвольно, исходя из нагрузки пружины при её работе так, чтобы выбранная нагрузка лежала в пределах рабочего диапазона пружины. Также стоит отметить, что при проведении таких замеров необходимо использование направляющей, чтобы исключить изгиб пружины, чтобы нагрузка на пружину шла ровно вдоль её оси.

Первые две точки графика – **A&B**. Они получаются вычитанием из длины свободной пружины её же длины под соответствующей нагрузкой в 100 или 200 фунтов. Разумеется, под свободной длиной пружины подразумевается её длина вне винтовки, в полностью свободном состоянии, а вычитание необходимо, поскольку график показывает зависимость нагрузки не от собственно длины, а лишь от изменения длины пружины.

¹ Scragging (англ.) - душить, придушить, у кузнецов - подогнуть, поджать стальную заготовку.

² Соответственно 45.3кг и 90.6кг

Энергия пружины

Нагрузка, фунты

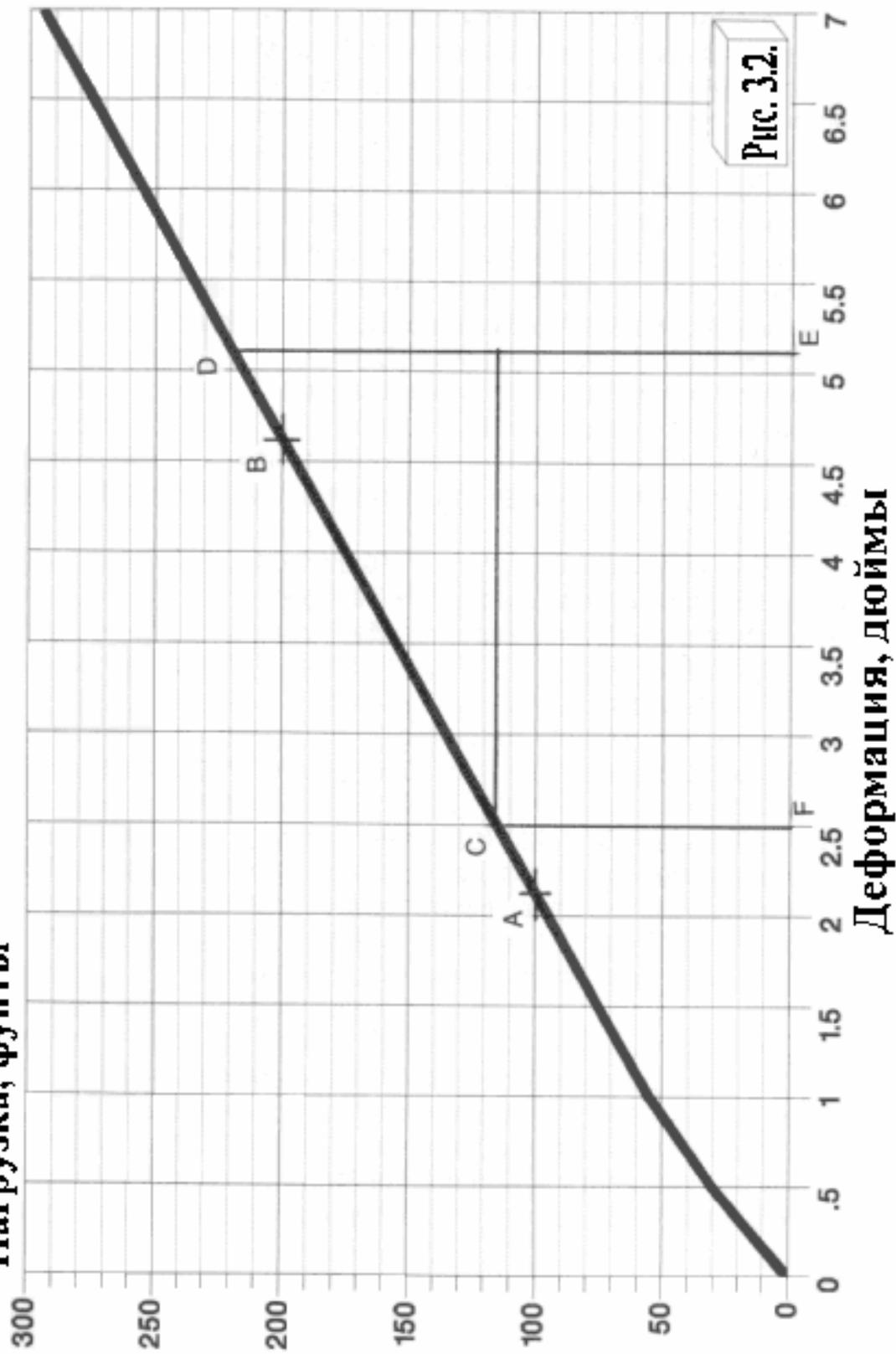


Рис. 3.2.

Как только мы получили эти две точки, мы можем провести через них прямую линию. Теоретически она должна пройти через начало координат, но из-за множества факторов, действующих на реальную пружину, при построении по реальным точкам эта линия никогда в ноль не попадает. Углубляться в исследование этих факторов мы здесь не станем.

Теперь можем нарисовать ещё две точки **C&D**. Первая соответствует длине пружины после её установки внутрь не взведенной винтовки, а вторая – длина пружины после взвода. Найти вторую точку несложно – достаточно вычесть из длины не взведенной пружины длину хода поршня.

Далее, проводим две вертикальные линии из этих точек на горизонтальную ось координат. Площадь, ограниченная этими вертикальными линиями, прямой линией сверху и осью координат снизу и будет искомым энергией, запасаемой в пружине.

Например, на **рис 3.2** рассматривается ситуация когда¹:

Свободная длина	10.0”
Длина при нагрузке 100 фунтов	7.9”
Длина при нагрузке 200 фунтов	5.4”
Длина не взведённой пружины	7.5”
Ход поршня	2.6”

Собственно вычисление:

1. Свободная длина минус длина при 100 фунтах (точка **A**)
10”-7.9”=2.1”
2. Свободная длина минус длина при 200 фунтах (точка **B**)
10”-5.4”=4.6”
3. Свободная длина минус длина не взведённой (т.е. начальное сжатие, точка **C**)
10”-7.5”=2.5”
4. Начальное сжатие плюс ход поршня (общее сжатие)
2.5”-2.6”=5.1”

Теперь осталось посчитать собственно площадь трапеции, ограниченной указанными выше линиями. Считать будем в виде суммы площадей квадратной и треугольной частей². Тогда площадь квадратной части будет **2.6”×116=301.6** дюймов·фунты, а площадь треугольной части $\frac{1}{2} \times 2.6” \times (220-116) = 135.2$ дюймов·фунты, в сумме получаем площадь всей трапеции **436.8** дюймов·фунты, или, переводя в футо-фунты путём деления на 12³, получаем **36.4** футо-фунтов.

Интересным продолжением такой системы, которое не требует измерений пружины под известными нагрузками каждый раз, является создание «мастер-пружины», которая нагружается эталонными нагрузками, и длина её под этими нагрузками фиксируется. Далее при измерении новой пружины достаточно на одну направляющую с тестируемой пружиной надеть «мастер-пружину» и сжимать обе пружины до тех пор, пока «мастер-пружина» не достигнет известной длины. Это и будет означать, что на тестируемую пружину оказывается эталонная нагрузка, соответствующая данной длине «мастер-пружины».

Жизненный цикл пружины.

Пружина практически постоянно находится в тяжёлых условиях, именно на пружину жалуются в первую очередь, когда спортивная винтовка начинает терять

¹ Перевод дюймов в метры или сантиметры, думаю, несложен – 1 дюйм=2.54см

² Хотя можно было бы сразу посчитать по школьной формуле площадь всей трапеции – полусумма оснований на высоту. Т.е. $\frac{1}{2} \times (CF+DE) \times FE$

³ В одном футо 12 дюймов.

мощность. Также возможен вариант, когда пружина избыточно сильная, что быстро приведёт к «выжиганию» всей смазки в поршневой группе винтовки и она, условно говоря, «оставшись без топлива» будет показывать более плохие результаты, пока её не смажут заново.

С другой стороны, пружина в маломощных спортивных целевых винтовках живёт очень долго, поскольку эти винтовки обычно работают в фазе *popgun* и в них используется очень малое количество смазки, что в свою очередь снижает риск дизелирования и благоприятно сказывается на сроке службы пружины.

В качестве примера ситуации поломки пружины можно привести винтовку, хозяин которой использует избыточное количество смазки и даже впрыскивает смазку в цилиндр через перепускное отверстие. После нескольких маломощных выстрелов, в процессе которых избыток смазки из цилиндра будет выброшен, количество оставшейся перед поршнем смазки достигнет критической величины и приведёт к детонации. Сильно возросшее давление отбросит поршень назад, сжимая пружину настолько это возможно, при этом поршень может даже встать обратно на боевой взвод, а на цилиндре могут образоваться вздутия.

Также можно сослаться на то, что невозможно сжать пружину дальше соприкосновения её витков, вне зависимости от величины прилагаемой нагрузки. Это, правда, не совсем так: мы советовались с наиболее известными производителями пружин, и нам было указано, что пружину можно эксплуатировать даже с небольшим превышением расчётной нагрузки, но при условии, что нагрузка появляется и исчезает очень быстро. Фактически речь идёт о создании «энергетических вибраций» в витках пружины.

Точную последовательность событий, в ходе которых происходит перегрузка пружины, отследить довольно трудно и лучше всего изучать с помощью расчётов. Достаточно сказать, что высокочастотные вибрации, возникающие в витках, приводят к сжатию витков в большей степени, чем когда они просто плотно соприкасаются. Проблема с пружинами в пневматическом оружии заключается как в очень плотном сжатии витков взведённой пружины, так и в резком её освобождении и расширении до своей «свободной» длины при выстреле. Не было бы проблем, если б пружина разжималась медленно, возможно, с той же скоростью, с которой её взводят, но попробуйте представить, что происходит с пружиной при нажатии на спусковой крючок. Сначала передние витки пружины толкают поршень с такой скоростью, что задние витки иногда даже отрываются от своего посадочного места, но затем поршень внезапно тормозится воздушной подушкой и отскакивает назад, навстречу виткам пружины, после чего пружина и поршень начинают некоторое время противодействовать друг другу, после чего наступает полный хаос и пружина обычно перегружается и теряет часть своей длины. Колебания могут быть очень сильными, возможно даже на некоторое время пружина и поршень будут колебаться внутри цилиндра вперёд и назад, не касаясь его торцов, пока, наконец, не придут в состояние покоя, возможно, уже после вылета пули.¹

Если же в цилиндре было избыточное количество смазки, то винтовка детонирует и поршень отлетает назад очень резко, при этом сильно воздействуя на витки пружины. Этот очень внезапный и сильный разворот оказывает негативное влияние на пружину и может даже привести к её поломке. Вред, наносимый пружине при детонации, наиболее ярко отражается на витках, которые находятся около спускового крючка. Обычно поломка пружины также происходит именно с этого конца. Мы можем подтвердить факт этого феномена следующим исследованием, проведённым несколько лет назад: заказчиком

¹ Это немного тяжёлое для прочтения описание процесса выстрела хорошо поясняет, почему, например, усиление пружины зачастую приводит к потере точности, или почему так важен однообразный хват для стрельбы из пружинно-поршневой пневматики.

были поставлены пружины с одним окрашенным концом и инструкцией, вставлять пружину именно этим концом к спуску. Все возвращённые с претензиями пружины были с повреждениями именно на этом конце.

На практике мы также в течение многих лет повредили множество пружин в ходе экспериментов. И в каждом случае длина пружины уменьшалась из-за детонации в цилиндре, а давление на очень короткий момент достигало 20'000 PSI¹. Это лишнее подтверждает, что детонация это смерть для пружины.

Также распространено мнение, что если оставить винтовку с взведённой пружиной на долгое время, то это приведёт к ослаблению пружины. Это, вероятно, правда для пружин невысокого качества, но высококачественная пружина может находиться сжатой практически бесконечно без какой-либо потери длины. Однако, из соображений безопасности всё же рекомендуется не оставлять винтовку взведённой дольше, чем это действительно необходимо.

Существует только один способ потери пружиной ESC – это уменьшение длины, поскольку они не теряют силу со временем или использованием. Изучение **рис 3.2** покажет, что если пружину, которую мы взяли в качестве примера, повредить детонацией (то есть уменьшить её длину), и затем снова протестировать, то высота выделенной площади уменьшится, да и сама выделенная площадь сдвинется влево, что уменьшит площадь выделения, соответственно и ESC также уменьшится.

Учитывая такое вредное воздействие детонации на пружину, было предложено при разборке и смазке винтовки сначала ставить старую пружину и лишь через некоторое количество выстрелов, когда винтовка выйдет на нормальный рабочий режим без детонации, поменять пружину на новую, чтобы избежать её преждевременной усадки и потери мощности. Также неплохо замерить длину новой пружины при установке, чтобы в будущем можно было проверить её на усадку.

Весьма часто при вынимании пружины оказывается, что она изогнута как банан. Вообще-то это не оказывает практически никакого воздействия на её энергетические показатели, но выглядит неприглядно и зачастую является признаком «биения пружины» при выстреле. Наиболее сильное биение может быть устранено с помощью надевания пластикового «рукава» на пружину и в таком виде вставить её в поршень, хотя небольшой зазор вокруг пружины всё же необходим при её взведении. Другая методика гашения биений – установка пластиковой или стальной направляющей внутри пружины. Большинство английских производителей сейчас устанавливают направляющие в свои винтовки и пистолеты из-за требований к малошумности оружия.

Поскольку конец пружины немного вращается при её взведении и возвращается обратно при выстреле, было предположение, что если сделать антифрикционную поверхность, то это должно повысить эффективность системы. Хотя по нашему мнению это весьма бессмысленный процесс, поскольку, как было сказано выше, в некоторый момент выстрела пружина или вообще не касается задней площадки или касается её очень несильно. Интересная историческая справка: в своё время для предотвращения эффекта скручивания использовались винтовки с двумя пружинами (с разным направлением навивки), разделёнными посередине шайбой.

Понятие оптимальной мощности пружины для пружинно-поршневой винтовки зависит от множества факторов, но в большинстве случаев это некий компромисс, зависящий в основном от целей, для которых предназначена винтовка. Маломощные пружины имеют преимущества малой отдачи и высокой стабильности скорости, соответственно, популярны для целевой стрельбы на небольшие дистанции. С другой стороны, если винтовка предназначена для стрельбы на дальние дистанции, то может

¹ Около 1360 атмосфер.

потребуется большая энергия и высокая точность приносится в жертву мощности. Однако, это ещё не конец истории – любая пружинно-поршневая пневматика является компромиссом между многими факторами, и далеко не все из них определяются пружиной.

В начале наших исследований мы стояли на точке зрения, которую позже назвали «общепринятой точкой зрения», что мощность пружинно-поршневой пневматики зависит только от мощности пружины и ни от чего более. Так как позже мы выяснили, что мощность пружины лишь один из многих факторов, влияющих на энергетику оружия в целом, мы последовательно перебирали винтовки, которые выдают адекватную энергию без использования очень мощных пружин. Следует отметить, что если все факторы, влияющие на энергетику оружия, подобраны надлежащим образом и работают «в одном направлении», то оружие не требует большой энергии «на входе». Проблема лишь в том, чтобы понять, что это за факторы и «заставить» их работать вместе в одном направлении.

Предположим, некто вынул пружину из винтовки с неизвестной историей эксплуатации и т.п. На что ему следует обратить внимание, чтобы оценить будущую энергетику этой пружины?! Визуальная оценка поможет обнаружить есть ли неравномерное сжатие пружины, выражающееся в том, что в одной её части витки расположены ближе, чем в другой. Эта проблема часто сопровождается другой – перекашиванием пружины, притом легко заметным даже визуально в виде изгиба всей пружины. Все эти проблемы (кроме перекашивания) уменьшают производительность пружины, поскольку явно или неявно уменьшают её длину, которая, как было показано выше, является важным фактором в энергетике пружины. Опыт является лучшим инструментом для оценки пружины, бывшей в употреблении, на предмет сохранения её характеристик. Ниже мы попытаемся дать несколько советов по оценке пружин. Большинство пружин имеют зазор в полтора диаметра проволоки между витками, однако, в случае очень тонкой проволоки этот зазор может быть и двукратным. Также можно прикинуть износ по величине предварительного сжатия – на большинстве экземпляров это порядка двух дюймов¹. Также стоит проверить, чтобы витки практически соприкасались при взведении, это обеспечивает наилучшее использование энергии пружины при выстреле.

Наиболее популярный вопрос по нештатным пружинам: «Могу ли я поставить более мощную пружину?». В большинстве случаев ответ «Нет!». Обычно если оригинальная пружина потеряла часть своей длины или не соответствует оружию по длине, то новая пружина будет более мощной, чем используемая. А если попытаться поставить более мощную пружину, чем оригинальная, не потерявшая своей длины пружина, то она может быть или более длинной или сделанной из более толстой проволоки и таким образом не уместится в поршень или на направляющую. Если она длиннее, то она соприкоснётся витками до того, как взведётся оружие, поэтому избыток длины придётся обрезать.²

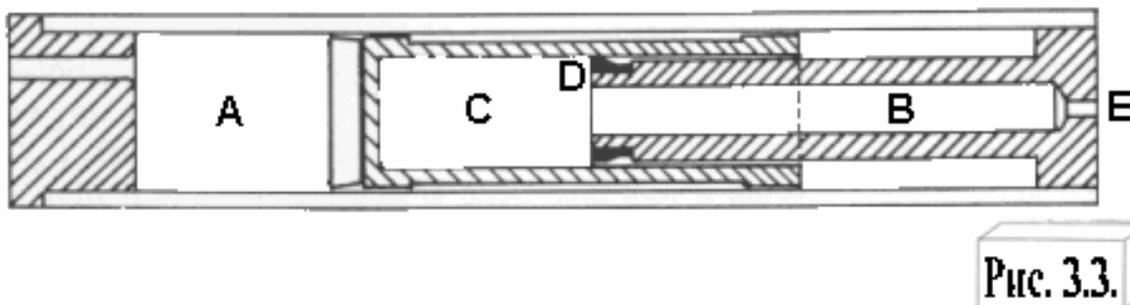
Другие типы пружин.

На рынке существует несколько винтовок, использующих два поршня и две пружины. Поршни обычно расположены друг напротив друга в противоположных концах цилиндра и, двигаясь совместно, выжимают воздух в казённый, расположенный точно посередине цилиндра. Однако, основное преимущество такой схемы – уменьшение отдачи, и, соответственно, увеличение энергетики пружин при сохранении той же отдачи.

¹ Т.е. примерно 5см.

² В этом утверждении не учитывается ещё, что нештатная пружина может быть мощнее при тех же габаритах из-за другого материала и термообработки. Видимо, предполагается, что производитель уже сделал всё возможное и тогда уже без замены габаритов большей энергии не получить.

Другая схема, в которой энергия хранится в сжатом газе, вместо сжатой пружины, представлена на **рис 3.3**. Фирма *Theoben* использует её в своих винтовках с газовой пружиной. Вместо сжатия пружины при взведении винтовки сжимается воздух или другой соответствующий газ в герметичном цилиндре. В данном экземпляре цилиндр образуется собственно поршнем и его подвижной пустотелой задней частью, естественно, с качественно герметизированным соединением.



Рассмотрим **рис 3.3**. Поршень изображён на полпути между состоянием взвода и положением у передней стенки рабочего цилиндра. При взведении поршня воздух заполняет рабочий цилиндр **A**, как и в обычной пружинно-поршневой пневматике. Одновременно, воздух или другой соответствующий газ сжимается в объём **B** из объёма внутри поршня **C**. Уплотнение **D** предотвращает утечку воздуха из системы после того, как её заправили газом через порт **E**. По идее исходно закачанный в систему газ должен сохраняться там практически бесконечно.

В целом конструкция очень удобная, сохраняется преимущество пружинно-поршневой пневматике в части взведения и зарядки, а догадаться об отсутствии обычной пружины можно разве что по отсутствию лягза и уменьшению вибрации. Один и тот же воздух в газовой пружине используется снова и снова, её не требуется перезаряжать перед каждым выстрелом. Кроме того, хоть термин «газовая пружина» и кажется необычным, этот предмет весьма популярен, правда, под другим названием – «газовая стойка». В автомобилях она используется, чтобы поддерживать крышку багажника в кузове «hatchback». Выглядят они как длинный цилиндр с качественно полированным стержнем внутри, который и сжимает газ при закрывании крышки багажника. Обычно в качестве сжимаемого газа в них находится азот под давлением, поэтому разбирать такую «газовую стойку» не рекомендуется (или уж, по крайней мере, надо соблюдать осторожность).

Винтовки *Theoben* имеют множество преимуществ из-за использования газовых пружин вместо обычных. В частности, они не теряют своей мощности, да и сама мощность может быть подрегулирована с помощью специального насоса. Нет лягза и вибрации, столь привычных в обычных пружинно-поршневых винтовках. Детонация также не столь страшна газовой пружине, в отличие от обычной. Хотя, разумеется, длительная неправильная эксплуатация принесёт свой негативный эффект.

Глава 4. Цилиндр.

Цилиндр в пружинно-поршневой винтовке это не только место, где ходит поршень и стенки для его направления, но также это, по сути, основа всей винтовки. В большинстве случаев основная часть деталей винтовки, таких как ствол, спусковой механизм, ложа, прицельные приспособления также крепятся именно к цилиндру. Его прочность и жёсткость крайне необходимы как составляющие хорошей винтовки. Очевидно, что если винты, крепящие ложу к цилиндру, будут незатянуты, то винтовка будет демонстрировать очень невысокую кучность, это наглядно иллюстрирует необходимость жёсткости цилиндра. Цилиндр практически всегда изготавливается из стали, однако, не всегда. Наиболее яркое исключение из этого правила – винтовка *Webley Eclipse*. Этот революционный шаг был предпринят фирмой *Webley* ещё в 1987 году, чтобы снизить вес их винтовки по сравнению с винтовками конкурентов. Судя по всему, попытка оказалась удачной, поскольку почти что через десять лет винтовка всё ещё выпускается. *BSA* также использует альтернативные материалы, в частности штампованный алюминий для цилиндра и корпуса своего *240 Magnum Pistol*.

Тем не менее, из какого бы материала ни был изготовлен цилиндр, его стенки должны быть достаточно толстыми, чтобы противостоять повышенному внутреннему давлению, например, в случае возникновения детонации. Детонация может оказать огромную нагрузку на стенки цилиндра перед поршнем. Мы даже наблюдали несколько примеров визуально заметного раздутия цилиндра из-за детонации.

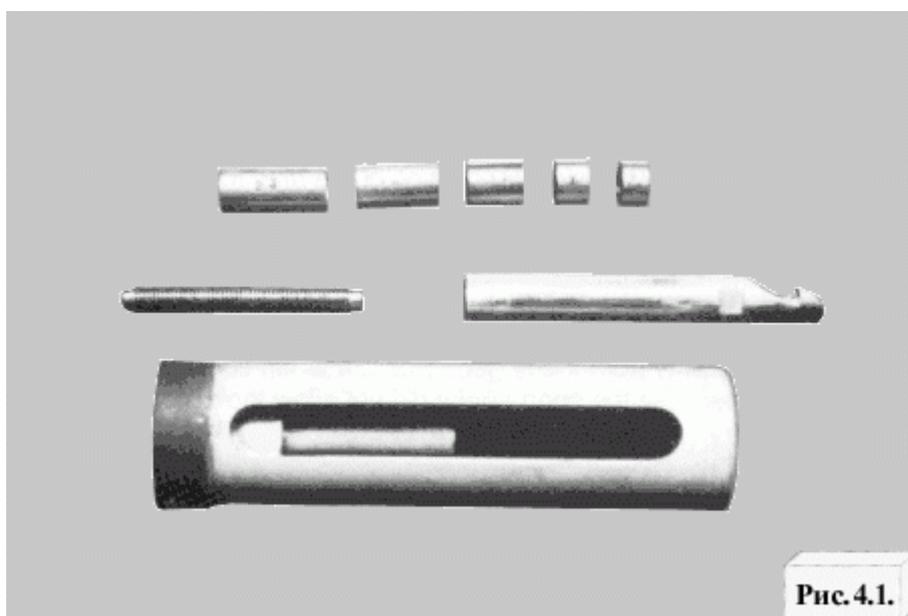
Помимо физической основы винтовки цилиндр также является и её технологической основой. Старые пружинно-поршневые винтовки, которые были весьма популярны в американских тирах, все имели весьма значительный диаметр цилиндра и относительно малый ход поршня. Винтовки оснащались двумя пружинами, каждая из которых была изготовлена из плоской пластины пружинной стали и имела форму конуса. В цилиндре винтовки эти пружины размещались вершинами конусов друг к другу. Несмотря на довольно жёсткие пружины, энергетика винтовки была невысокой по сравнению с современными экземплярами, возможно, из-за малого хода поршня, который не позволял ему набрать высокую скорость и выжать максимум энергии из пружины.

Современная тенденция в создании пружинно-поршневых винтовок это более маленькие по диаметру цилиндры, зато больший ход поршня. Наиболее оптимальное соотношение между диаметром и ходом поршня, найденное за годы экспериментов, сейчас составляет примерно 1 к 3.7 (например, в случае *Webley Patriot* это 1.1875 дюйма к 4.375 дюйма¹). Если это соотношение больше, то эффективность всей системы должна возрасти, при условии установки пружины соответствующей силы, однако, существует неизбежный предел этого соотношения – по силе пружины. И наоборот, если диаметр поршня будет меньше, то мощность будет падать, если только не наращивать длину хода поршня. Кроме уменьшения рабочего объёма и связанного с этим падения энергетики, возникнет проблема с изготовлением пружины, которая обладала бы нужным *ESC*, и при этом могла бы уместиться в более тонком поршне. Хотя абсолютная мощность такой винтовки, вероятно, будет не велика, но эффективность её в плане соотношения между энергией пружины и выходной энергией винтовки должна быть весьма высокой.

Мы провели интересный эксперимент, чтобы выяснить соотношение между тремя факторами – диаметром цилиндра, ходом поршня и энергией пружины. В нашем эксперименте мы изменяли только ход поршня. Сохранение постоянной энергетике пружины было непростой задачей, пока мы не стали использовать целый набор пружин и

¹ Проще говоря, $1\frac{3}{16}$ дюйма к $4\frac{3}{8}$ дюйма, или 30.2 мм к 111.2 мм

регулируемых шайб, чтобы компенсировать изменяющийся ход поршня. Регулировка хода поршня была несложной, – мы отрезали направляющую и вставили вместо неё шпильку, на которую навинчивали специальные «мерные» насадки **рис 4.1**.



В течение первой части эксперимента мы сохраняли энергетiku пружины на уровне 15 футо-фунтов и использовали пулю калибра 0.22” весом 12 гран. Результаты были следующие¹:

Ход поршня мм	Соотношение Диаметр:Ход	Рабочий объём См ³	Дульная энергия Дж	Эффективность %
24	1:0.8	17.0	2.85	14%
30	1:1.0	21.2	4.20	20.6%
36	1:1.2	25.5	6.10	30.0%
42	1:1.4	29.7	6.51	32.0%
48	1:1.6	34.0	4.74	23.5%
54	1:1.8	38.2	4.61	22.6%
60	1:2.0	42.4	2.71	13.3%

Интересная точка в этом эксперименте – соотношение 1:1.4, которое для данных винтовки, пружины и пули показало наилучшую дульную энергетiku. После этого максимума дульная энергия снова начинает убывать. Этот пример наглядно демонстрирует, что существует оптимальное соотношение между диаметром цилиндра и ходом поршня для каждой конкретной винтовки. Тем не менее, следует отметить, что поиск оптимума для винтовки дело индивидуальное для каждой модели, поскольку существует множество различных, малозаметных факторов, которые вместе оказывают огромный эффект на характеристики винтовки.

Дальнейшие эксперименты, в ходе которых варьировались различные параметры, и были произведены сотни выстрелов, показали, что большее соотношение диаметра цилиндра к ходу поршня всегда лучше, чем меньше². Кроме того, в каждом случае

¹ Т.е. энергия пружины 20.34Дж, калибр 5.5 и вес пули 0.78грамма.

² Естественно, при изменяемой мощности пружины.

существует оптимальная мощность пружины и если поставить ещё более сильную, то это приведёт лишь к падению дульной энергии.

Очевидно, что наличие любого горючего материала перед поршнем приведёт к ещё большей эффективности, особенно когда соотношение диаметра цилиндра к ходу поршня и мощность пружины достаточно велики. Мы делали всё возможное, чтобы избежать такого «прироста энергии» в ходе экспериментов, однако, это практически невозможно без использования инертного газа¹.

Габариты цилиндра обуславливают степень сжатия воздуха, с которой он сжимается при выстреле. Это весьма грубое теоретическое объяснение позволяет хорошо оценить возможную эффективность винтовки. В терминах пневматической винтовки, степень сжатия это соотношение между объёмом воздуха в цилиндре перед взведённым поршнем и суммарным объёмом перепускного канала и паразитных объёмов в торце поршня и юбке пули. Предположим, что объём перепускного канала вместе со всеми паразитными несжимаемыми объёмами составляет 1 см^3 , в то время как рабочий объём цилиндра составляет 200 см^3 . тогда степень сжатия будет 200:1.

Если быть более точным, а также когда речь заходит о двигателях, то степень сжатия это отношение «общего объёма», который равен объёму цилиндра в положении максимального расстояния от поршня до дна цилиндра, к «мёртвому объёму», который равен объёму оставшемуся перед поршнем при его минимальном расстоянии до дна цилиндра. Однако, в случае пневматического оружия объём перед поршнем в переднем положении столь ничтожен, что наше определение, учитывающее паразитные объёмы, становится более полезным, чем универсальное, применяемое, в частности для двигателей.

Степень сжатия в пневматическом оружии повышалась с течением времени, в основном за счёт уменьшения объёма перепускного канала. В некоторых случаях этот объём вообще сводился к нулю, в результате чего расчёт степени сжатия давал результат более 1000:1. Ранее мы уже упоминали, что это сжатие теоретическое, поскольку обычно пуля начинает своё движение от казённого до того, как поршень придёт к дну цилиндра, что приводит к падению реальной степени сжатия, которая никогда не достигает максимального теоретического значения. Также следует отметить, что в определённый момент поршень может вообще начать двигаться назад под воздействием сжатого перед ним воздуха.

С цилиндром пневматической винтовки обычно бывает немного проблем, наиболее вероятная из них – это утечка воздуха. Чаще всего цилиндр изготавливается из металлической трубы, передний конец которой закрывается заглушкой на резьбе или сварке. Наиболее вероятная причина утечек воздуха – это образование мелких каналов на стыке заглушки и трубы цилиндра. Определить наличие такого дефекта можно, нанеся тонкий слой смазки на торец цилиндра и далее нагревом заставив воздух расширяться. Место утечки выдаст себя тонкой струйкой пузырьков. Также возможны и грубые механические дефекты, такие, например, как слишком глубоко просверленные отверстия под крепёж приклада, которые проникают в цилиндр или перепускное отверстие, но они встречаются крайне редко.

Также возможно, что отверстия или прорезы в цилиндре будут иметь острые края, оставшиеся от момента изготовления. В некоторых случаях такие дефекты в процессе стрельбы ещё больше усугубляются, края становятся ещё более острыми. Кроме того, такие дефекты приводят к порче манжеты, а также могут царапать поршень, что не лучшим образом сказывается на характеристиках винтовки. Естественно, такие дефекты необходимо убрать, например, с помощью напильника, перед тем как ставить новый

¹ См. выше «эксперимент с азотом».

поршень или манжету. В противном случае эти дефекты быстро выведут из строя и новую манжету.

Вероятно, наиболее существенным параметром цилиндра является его внутренняя поверхность. Особенно важна та часть, по которой двигается манжета поршня во время выстрела, вероятно, это наиболее существенная часть поверхности всей винтовки, по крайней мере, с точки зрения её эффективности. Можно выделить два основных типа поверхности цилиндра – гладкая и неровная. Естественно, такое деление весьма условное, а выбор типа поверхности зависит от предназначения винтовки. Если винтовка предназначена для целевой стрельбы и на первом месте идёт точность и стабильность выстрела, а мощность уже вторична, то в таком случае оптимальной является гладкая, идеально отполированная поверхность, на которой не останется ни капли смазки после взведения поршня. Это гарантирует, что смазка не попадёт перед поршнем, добавляя пуле энергии и снижая стабильность, другими словами, винтовка работает исключительно в фазе *popgun*.

Если же винтовка предназначена для стрельбы вне тира, когда в первую очередь важна мощность, а точность уже не столь критична, то тут уже более перспективной выглядит грубая, точнее немного неровная поверхность, на которой после взведения будут оставаться микро-капли смазки, увеличивая тем самым мощность выстрела. Соответственно, эта винтовка будет функционировать в фазе *combustion*. Естественно, в обоих случаях предполагается использование современной пластиковой манжеты.

В случае же использования кожаной манжеты ситуация несколько меняется, поскольку кожаная манжета имеет свойство чисто вытирать любую поверхность, как гладкую так и неровную. Кожа работает как тампон, впитывая смазку, а затем под давлением выделяет её обратно. В таком случае качество поверхности цилиндра, особенно в той части, где ходит при выстреле манжета, не столь существенно, поскольку кожаная манжета будет вытирать смазку, возможно, неоднородно, что приведёт к более нестабильной скорости вылета пули, чем в случае использования более современной пластиковой манжеты.

Глава 5. Поршень.

Когда речь заходит о поршне, то обычно представляется некая «пробка», скользящая внутри цилиндра и снабжённая манжетой для герметичности. Очевидно, что это практически словарное определение поршня, однако, как и во многих других областях существуют неизбежные «если» и «но», которые несколько усложняют картину.

В современной пружинно-поршневой винтовке поршень выполняет сразу несколько функций: он служит основанием для крепления манжеты, как правило, он имеет направляющую для пружины, и, кроме всего прочего, он является накопителем кинетической энергии, посредником в процессе передачи энергии от пружины к воздуху, в тот момент, когда пружина распрямляется и теряет свою потенциальную энергию.

Сначала упомянем о последней его функции – накоплении энергии. Мы проводили эксперименты с изменением веса поршня, добавляя внутрь оригинального поршня избыточные грузы. Таким образом, мы смогли менять вес поршня почти в два раза. Результат нас несколько удивил: мы ожидали значительного изменения дульной скорости, вверх или вниз – мы не знали. Однако в результате экспериментов дульная скорость несколько упала, но при этом винтовка стала очень некомфортна при стрельбе из-за сильно возросшей отдачи.

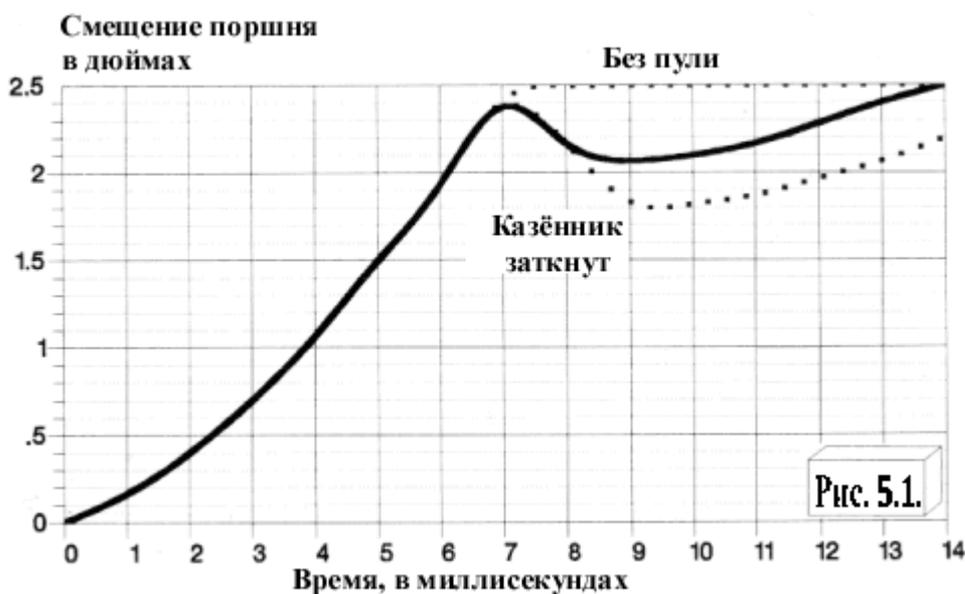
Также мы выяснили, что из-за ограничений по габаритам и плотностям материалов существенное изменение веса поршня практически невозможно. Чтобы рассмотреть ситуацию более подробно, воспользуемся воображением. Допустим, поршень стал очень тяжёлым. Тогда при нажатии на спуск поршень будет разгоняться очень медленно, зато отдача при этом будет весьма значительной, поскольку пружина толкает поршень в одну сторону, а всю винтовку в противоположную сторону, поскольку поршень и пружина не жёстко соединены между собой и не жёстко соединены с винтовкой. Когда поршень достигает передней стенки цилиндра, то, во-первых, воздух в цилиндре будет очень сильно сжат, а во-вторых, при ударе о переднюю стенку цилиндра поршень передаст всю накопленную энергию винтовке, что опять-таки приведёт к очень резкому и сильному сотрясению винтовки. В результате этого сотрясения может поломаться телескопическая направляющая, или, как минимум, её может отбросить назад. С другой стороны, относительно лёгкий поршень даёт заметно меньшую отдачу, но, во-первых, его может быть довольно дорого и неудобно производить, а во-вторых, даже при очень лёгком поршне остаётся подвижной пружина, которая при надлежащей мощности обычно лёгкой не бывает, и сделать её лёгкой весьма затруднительно. В любом случае, независимо от веса поршня, энергия внутри пневматической винтовки запасается одна и та же, поскольку она зависит лишь от пружины и накапливается при взводе винтовки.

Когда поршень тяжёлый, энергия пружины передаётся ему медленнее, что делает винтовку весьма неудобной для стрельбы. В случае же лёгкого поршня он может ускоряться быстрее, соответственно, получается меньшая отдача. Когда же поршень достигает передней стенки цилиндра, то тяжёлый поршень остановить сложнее, чем лёгкий, к тому же, учитывая наличие «воздушной подушки» перед поршнем, влияние его веса на процесс выстрела становится вполне очевидным.

График типичного движения поршня при выстреле показан на **рис. 5.1**. Нетрудно видеть, что скорость поршня становится практически постоянной, после участка начального разгона, пока он не достигает передней стенки цилиндра, где происходит достаточно резкая остановка. Интересен тот факт, что в момент остановки поршень не достаёт до передней стенки примерно на 0.1 дюйма, а затем отскакивает назад, примерно на 0.5 дюйма¹ и лишь после этого снова двигается вперёд до самой стенки цилиндра.

¹ Т.е. останавливается на расстоянии примерно 2.54мм от стенки, а отскакивает на 12.7мм.

Если же в винтовке не будет пули, то поршень точно также разгоняется, но в конце просто ударяется о переднюю стенку цилиндра, где и остаётся, не произведя никакой полезной работы. С другой стороны, если казённый винтовки просто герметично заткнут, то воздух из цилиндра деваться некуда, поэтому отбрасывать поршень назад будет чуть дальше, чем в случае наличия пули, а вот передней стенки после этого поршень сразу не достигнет, остановленный «воздушной подушкой». Соответственно, поршень отразится несколько дальше, чем на 0.5 дюйма, затем снова двинется вперёд и т.д. пока не остановится где-то у передней стенки цилиндра.

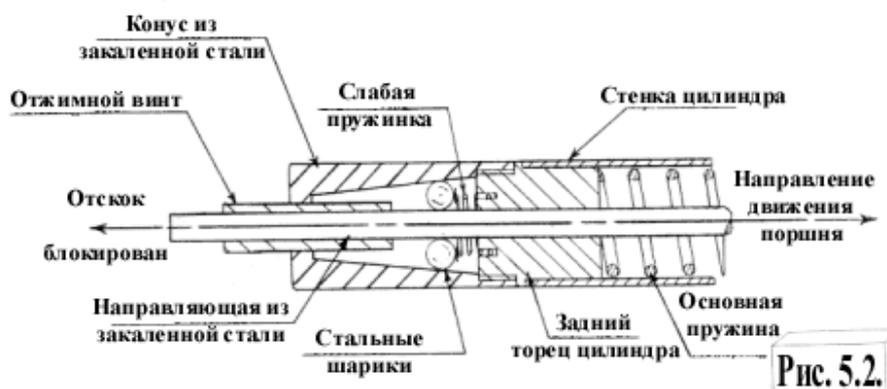


Причиной того, что поршень отражается, не доходя до передней стенки цилиндра, является высокое давление сжимаемого воздуха, в этот момент воздух не может передать энергию пуле, поскольку пуле требуется время для разгона, а поршень отдаёт свою энергию воздуху достаточно быстро. После этого поршень начинает двигаться в обратную сторону, пока сила пружины не будет превосходить силу давления воздуха на поршень. Разумеется, во время этого отскока поршня пуля уже стартует из казённого ствола, поэтому при втором продвижении поршня вперёд давление воздуха уже не будет столь высоким и это будет завершающим этапом перемещений поршня.

Если бы существовали способы избавиться от отскока поршня и связанной с ним бессмысленной потери энергии, то при таком подходе больше энергии досталось бы пуле. Как только мы осознали, что отскок поршня приводит к серьёзному падению давления в цилиндре, мы немедленно попытались придумать, как избежать этого отскока. Были изучены различные конструкции и затрачены большие усилия на разработку, но в основном мы сталкивались с двумя серьёзными проблемами. Во-первых, поршень находится в «точке отражения» ничтожно малое время, соответственно, многие конструкции, которые отлично работали при перемещении поршня вручную, тут же переставали работать, как только дело доходило до реального выстрела. Во-вторых, давление в момент отражения поршня очень велико. Соответственно, конструкция должна быть в состоянии противодействовать весьма значительной силе. В нашем случае сила максимального давления на поршень превышала 1000 фунтов, т.е. почти полтонны¹.

¹ В единицах СИ примерно 4445 Н.

В итоге мы пришли к конструкции, схема которой показана на **рис. 5.2**. Основная идея заключается в том, что направляющая может свободно перемещаться в одном направлении, но при попытке движения в обратном направлении она блокируется в клиновидной части конструкции стальными шариками. Когда же необходимо перезарядить винтовку, то шарики отжимаются специальным отжимным винтом. Соответственно, такое действие необходимо проделывать при каждой перезарядке. Все детали конструкции были изготовлены из инструментальной стали, после чего закалены и отполированы. Тем не менее, в процессе стрельбы детали конструкции деформировались, и в итоге вся стопорная конструкция слетела с винтовки из-за отдачи. После чего мы пришли к выводу, что данная конструкция практической ценности не представляет, поскольку нагрузки, возникающие при её использовании слишком велики для нормальной винтовки. Однако, если всё же удастся сконструировать винтовку с системой фиксации поршня, то мы уверены, что прирост скорости будет значительным. К сожалению, данное утверждение так и остаётся спорным, поскольку нам не удалось продемонстрировать это на практике.



Фирме *Theoben* удалось частично решить проблему отдачи поршня путём помещения в поршень своей газовой пружины дополнительного «инерциальный» поршня (**рис. 3.3**). Это хитроумное устройство несколько напоминает катушку для ниток, только центральное отверстие поменьше, да и фланцы катушки имеют форму колец. Эти кольца гарантируют, что при нормальных условиях внутренний поршень остаётся на месте, независимо от того, находится винтовка в горизонтальном положении или наклонена стволом вверх или вниз.

При взведении «инерциальный» поршень сдвигается к переднему краю поршня, где и остаётся, благодаря кольцам. В момент начала движения основного поршня, «инерциальный» поршень, благодаря своей большой массе, пытается остаться на месте и смещается к задней части основного поршня, постепенно набирая скорость. В момент остановки и начала отскока основного поршня внутренний «инерциальный» поршень пытается продолжить своё движение и встречается с отскакивающим основным поршнем, после чего они вместе продолжают движение вперёд. Такая конструкция позволяет: во-первых, уменьшить отскок поршня, во-вторых, сделать основной поршень более лёгким, оставив большую часть массы внутреннему «инерциальному» поршню, что приводит к гораздо более комфортной и мягкой отдаче.

В этой системе отверстие в центре «инерциального» поршня играет очень важную роль, поскольку оно регулирует скорость протекания воздуха с одной стороны внутреннего поршня на другую, что сильно влияет на скорость его движения и, соответственно, на эффективность всей системы в целом. Эта система хоть и выглядит достаточно примитивно, на деле весьма сложна, поскольку в её работе участвует как

минимум четыре фактора: инерция, скорость, трение и воздушный поток. Если будет неправильно оценен хотя бы один из этих факторов, то вся система вместо улучшения характеристик винтовки может привести к их ухудшению.

Также следует отметить, что существует две основных идеологически разных конструкции поршня. В одном случае зацеп находится на боковой стенке поршня, а в другом – на центральной направляющей. Сильного преимущества не имеет ни одна из этих схем и выбор между ними в основном остаётся на усмотрение конструктора, в зависимости от типа, месторасположения и конструкции используемого спускового механизма.

Юбка поршня также весьма сильно прижимается к верхней стенке цилиндра тягой взведения, в процессе постановки поршня «на взвод». Такое движение зачастую приводит к царапинам на цилиндре и поршне, особенно если забывать смазывать винтовку. Чтобы этого избежать, достаточно закрепить втулку из нейлона или мягкого металла (например, латуни) на конце поршня. Однако такое решение обычно реализуется уже владельцами винтовок, а не производителями.

В процессе выстрела поршень движется с весьма большой скоростью, поэтому любое трение или другие факторы, способные этому движению помешать, должны быть минимизированы, а в идеальном случае и вовсе убраны. Густая смазка между двумя близко расположенными и быстро движущимися поверхностями только тормозит их движение и чем более вязкая смазка, тем больше торможение. Как способ уменьшения эффекта торможения используется уменьшение трущихся поверхностей. Именно по этой причине центральная часть поршня, как правило, меньше, чем оба его торца, которые скользят по цилиндру. Кроме того, такое решение обеспечивает пространство для смазки, которая медленно двигается вперёд по поршню при каждом выстреле.

Причина этого движения смазки всё в том же отскоке поршня. Когда поршень отражается в обратном направлении, смазка продолжает по инерции двигаться вперёд. Однако та же смазка движется назад в начальной фазе выстрела, когда поршень резко ускоряется. В общем, как говорится, «шаг назад и два вперёд»¹ при каждом выстреле. В итоге смазка достигнет переднего конца поршня и сальника, на него надетого, откуда и будет потихоньку просачиваться в цилиндр, если винтовка сконструирована для работы в фазе *combustion*.

Также следует упомянуть и о ещё одной особенности конструкции поршня – креплении тяги взведения к поршню. В некоторых винтовках поршень имеет пропи́л, в котором и скользит тяга взведения, возможно, касаясь витков пружины. Другие производители ставят тонкую стальную гильзу вокруг пружины, частично, чтобы предотвратить попадание тяги взведения между витками пружины, а частично, чтобы избежать попадания смазки с пружины на цилиндр. Ещё как вариант делают желобок на поршне, по которому скользит тяга взведения, таким образом, исключается всякий контакт внутреннего объёма поршня и тяги взведения. В частности, именно так сделано в винтовках фирмы *Theoben*, поскольку у них внутри поршня находится газ под давлением².

Мы не просто так взялись описывать различные варианты как можно прикрепить тягу взведения к поршню. Дело в том, что пружина в винтовке это не только источник энергии, но и зачастую источник смазки, которая может попадать в цилиндр. И, например, в случае винтовки, функционирующей в фазе *porpign*, когда чем меньше смазки находится перед поршнем, тем лучше, возможно, стоит отказаться от пропи́ла в поршне вообще, чтобы избежать попадания смазки с пружины в цилиндр.

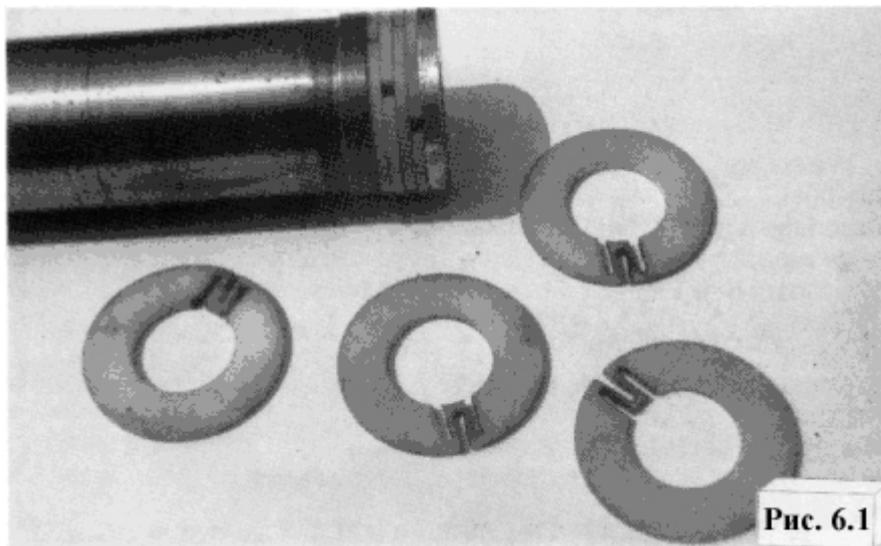
¹ Нет, я не ошибся, это у нас крылатая фраза «шаг вперёд и два назад», а у них "шаг назад и два вперед", возможно, это из ритма танца "кадриль".

² Речь идёт всё о той же газовой пружине фирмы *Theoben*

Глава 6. Манжета поршня.

Мы решили посвятить отдельную главу описанию манжеты поршня, поскольку все наши эксперименты показали, что, несмотря на кажущуюся малозначительность, возможно, это одна из наиболее важных компонент в пружинно-поршневой винтовке, оказывающая огромное влияние на её эффективность, гораздо большее, чем большинство владельцев думают. Манжета поршня не только контролирует фазу, в которой функционирует винтовка, но также и стабильность от выстрела к выстрелу. Ранее то, что мы сейчас называем манжетой поршня, называлось просто шайбой поршня. Это было вполне логично, когда это действительно был просто диск из кожи. Однако со временем эта деталь приобрела форму колпачка, где кожаный диск заполнял пространство внутри колпачка, а сейчас это достаточно сложная деталь, обычно изготавливаемая из полиуретана.

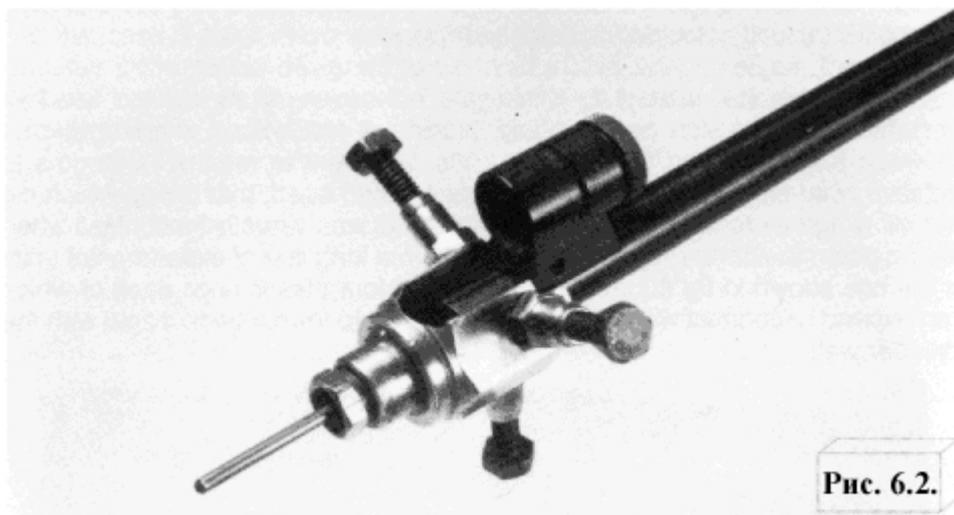
Когда мы только начинали наши исследования пружинно-поршневого оружия, мы предположили, что манжета поршня должна обеспечивать герметичное уплотнение между поршнем и стенками цилиндра, притом с минимальным трением. Нам пришлось проделать долгий путь, прежде чем мы смогли получить то, что мы считали идеальной манжетой поршня, т.е. не пропускающей воздух и в то же время практически не оказывающей трения при передвижении внутри цилиндра. Возможно, наилучший вариант из многочисленных экспериментов показан на **рис. 6.1**. Он изготовлен из четырёх пластиковых колец, каждое из которых может легко сжиматься и разжиматься, обеспечивая идеальное уплотнение между поршнем и стенками цилиндра.



Мы проверяли качество уплотнения между манжетой поршня и цилиндром с помощью выстрела из пружинно-поршневой винтовки при заткнутом казеннике. Время, которое проходило между моментом освобождения поршня и его окончательным успокоением давало характеристику эффективности уплотнения, это время также иногда называют «время поршня». Также мы не сразу решили проблемы надёжного и безопасного для винтовки способа герметизации казенника. В итоге мы создали устройство, которое из-за своего внешнего вида, напоминающего первый русский спутник, мы так и назвали «спутник»¹. Это устройство показано на **рис. 6.2**. По сути, это насадка, которая крепится на дульный срез ствола винтовки с помощью трёх винтов, а

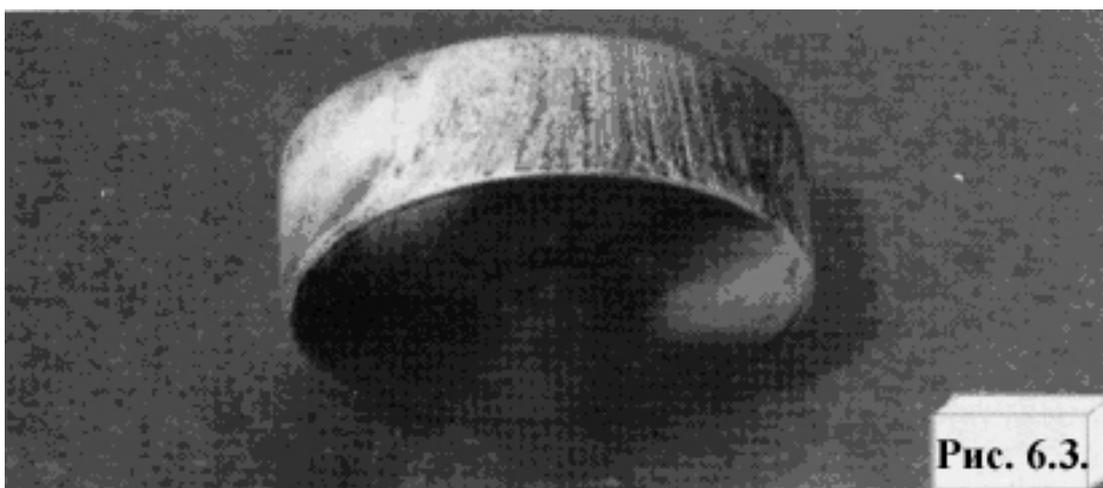
¹ В оригинале действительно так и называется «Sputnik»

внутри пропускается и фиксируется длинный стержень, доходящий до казённого среза ствола, где он удерживает пулю, юбка которой герметизируется небольшим количеством пластилина.



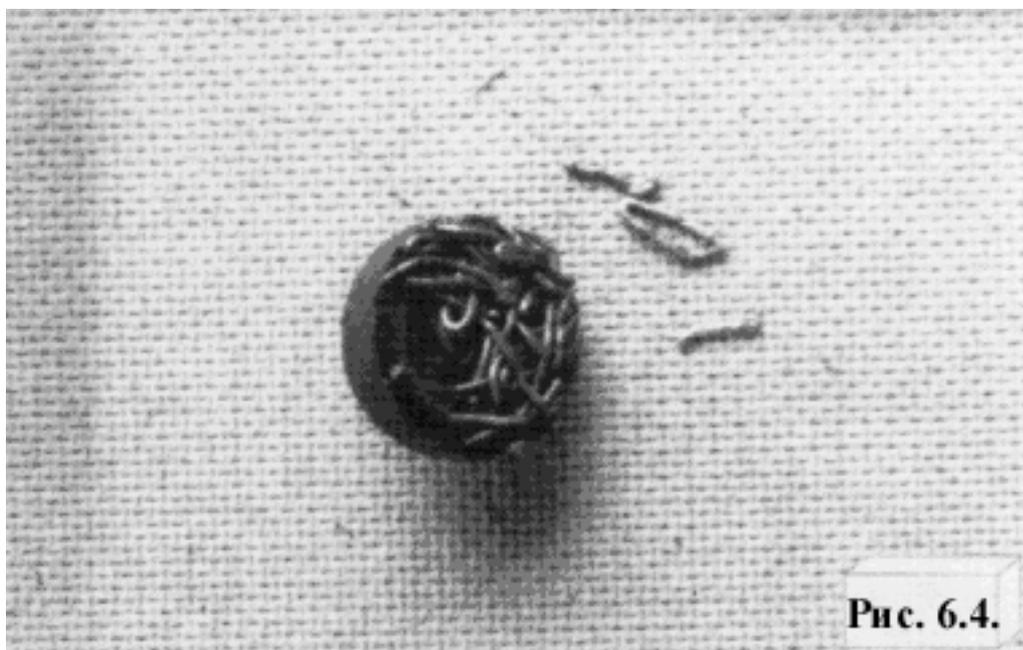
Мы вскоре выяснили, что винтовка с манжетой поршня, которая нам казалась идеальной и демонстрировала практически бесконечное время поршня, почему-то выдавала заметно меньшую энергетiku, чем мы ожидали. С другой стороны, обычная кожаная манжета, которая показывала время поршня около четырёх секунд, давала куда более высокие результаты по энергетике. Также мы выяснили, что герметичная манжета поршня в любом случае гарантирует низкую энергию.

Примерно в это же время один наш коллега прислал нам самодельную манжету поршня, сделанную из нейлона. На ней были весьма характерные царапины, которые были сделаны горячими газами, проходящими через узкое отверстие под большим давлением (**рис. 6.3**). Эта манжета дала нам повод задуматься, что мы имеем дело с гораздо более сложной вещью, чем нам казалось ранее.



Мы провели ряд экспериментов с прорезанными смотровыми окошками, как в передней части цилиндра, так и в перепускном отверстии и выяснили, что когда винтовка работает нормально и выдаёт максимум энергии, наличествует яркая вспышка белого света, происходящая перед поршнем. Более того, основное возгорание происходит не столько в цилиндре, сколько в самом перепускном отверстии.

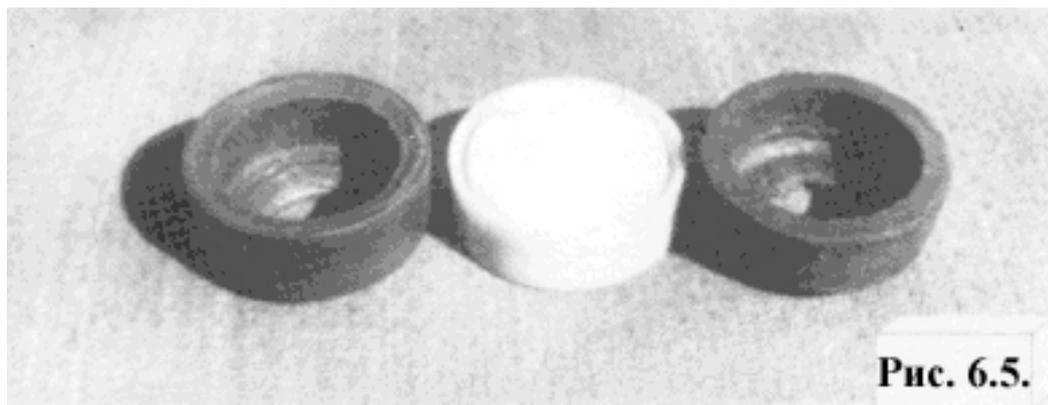
Кожаная манжета поршня по своей сути очень живучая вещь, мы встречали случаи, когда в кожаной манжете были шарики от шарикоподшипника, кнопки, гвозди и прочие посторонние предметы, при этом после удаления этих «инородных тел» манжета по-прежнему оставалась вполне работоспособной (рис. 6.4). Также она может выжить после долгой работы без смазки и восстановить свою работоспособность после хорошего вымачивания в масле.



Манжета поршня в виде кожаного колпачка была наиболее очевидным способом уплотнения воздуха в цилиндре. Они стали стандартным уплотнением, используемым в пневматическом оружии в прошлом, хотя *Webley* использовала преимущественно металлические поршневые кольца в своих ранних винтовках и пистолетах, а *BSA* использовала синтетические резиновые O-образные кольца в своих конструкциях. Глядя назад можно сказать, что в случае использования качественных колец уплотнение было настолько эффективным, что очень малое количество смазки просачивалось через него перед поршнем для обеспечения топлива для возгорания, в итоге винтовка могла работать в фазе *combustion* с большими ограничениями.

Однако, именно такое уплотнение является крайне полезным для спортивных винтовок и пистолетов, предназначенных для стрельбы по бумажным мишеням, где не требуется высокая скорость пули, но требуется высокая стабильность скорости, что замечательно обеспечивается таким уплотнением, не дающем смазке проникать перед поршнем и воспламеняться при выстреле.

Кожаные манжеты поршня (рис. 6.5) обладают подчас весьма странными характеристиками – некоторые из них демонстрируют весьма высокую энергетику и при этом хорошую стабильность скорости, а другие наоборот, показывают безнадежно низкую энергию и большой разброс скоростей. Причины столь разнящихся характеристик точно не выяснены. Возможно, качество кожаной манжеты зависит от места на шкуре, из которого её вырезали, или от обработки кожи. Процессы, через которые проходит шкура, с того момента, как она была на животном и до того момента как она стала кожаной манжетой, весьма разнообразны, занимают много времени и довольно сложны и кроме всего прочего, допускают множество вариаций, влияющих на конечный результат.



Поскольку кожа имеет характеристики, близкие к пористому материалу, она имеет свойство впитывать смазку. Скорость впитывания смазки достаточно невысока по своей природе и поэтому при формировании кожаной манжеты поршня очень важно будет ли так называемая «солнечная сторона» снаружи или внутри. Кожа имеет две стороны – так называемая «солнечная сторона» и «черновая сторона». Первая – это внешняя сторона шкуры, на которой росли волосы, пока шкура была на животном. Соответственно, эта сторона достаточно устойчива к внешним воздействиям и скорость впитывания у неё очень мала. А вот вторая сторона, внутренняя часть шкуры, впитывает в себя воду или масло куда быстрее.

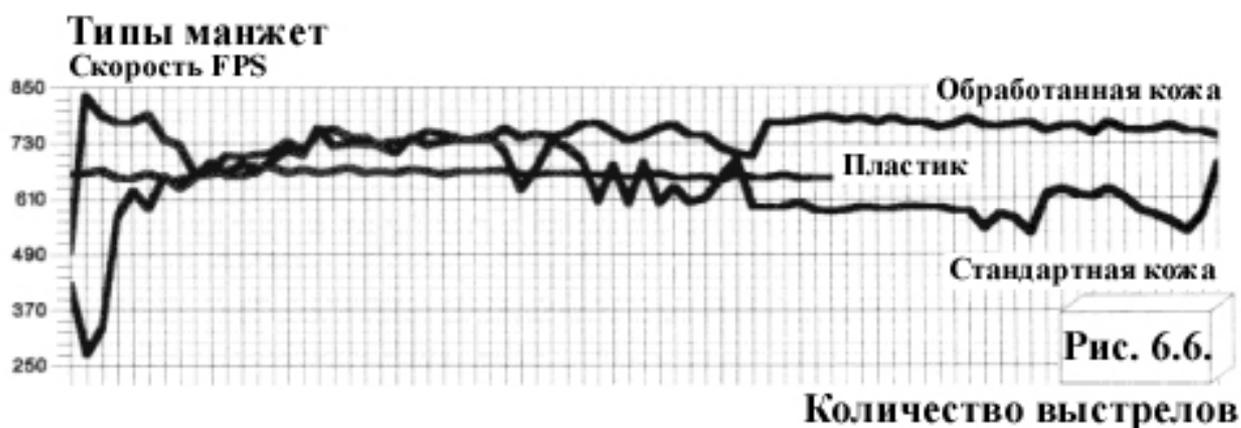
Большинство продаваемых кожаных манжет сделаны «солнечной стороной» наружу, что ограничивает скорость впитывания масла с поршня и со стенок цилиндра. Это приводит к странному феномену, когда пружинно-поршневая винтовка показывает большую энергетику, чем обычно, после небольшого перерыва, если во время этого перерыва она стоит в положении дулом вниз. Избыточная смазка, которая должна впитываться кожей, стекает вперёд и сгорает в течение нескольких первых выстрелов, а затем характеристики снова становятся обычными. Также наблюдается и обратный эффект, если пружинно-поршневая винтовка долго стоит прикладом вниз, то смазка потихоньку стекает вниз, оставляя цилиндр практически сухим. В итоге первые выстрелы в отсутствие воспламеняющейся смазки будут весьма маломощными. Это приводит к общепринятому выводу, что пружинно-поршневою винтовку следует хранить в горизонтальном положении, предпочтительно спуском вверх – вообще-то странное положение для любого оружия.

Мы проделали серию экспериментов с разными типами манжет поршня, чтобы выяснить эффект удаления «солнечной стороны» кожи. Мы использовали пластиковую манжету поршня как ориентир. С ней мы получили скорость 670 FPS для пули весом 8.3 гран калибра 4.5мм.¹ Стандартная кожаная манжета с «солнечной стороной» наружу стартовала с результатом около 800 FPS, правда, потихоньку скорость спала до 600 FPS², что продемонстрировало её недостаточную способность пропускания смазки для поддержания максимальной энергетики. И третьим участником была кожаная манжета, у которой была физически удалена «солнечная сторона», т.е. была попытка повысить характеристики по впитыванию и пропусканию смазки. Скорость пули при стрельбе с этой манжетой плавно возрастала в течение примерно первых двадцати выстрелов и затем остановилась на показании около 750 FPS³. Следует отметить, что в этих экспериментах использовалась достаточно «активная» смазка, чтобы акцентировать разницу между различными типами манжет (рис. 6.6).

¹ Т.е. скорость 204.35 м/с для пули весом 0.54 грамма

² Соответственно с 244 м/с спадало до 183 м/с

³ Что соответствует 228.75 м/с



Конечно, возможно, что масло не будет проникать через пластиковую манжету, однако, пластиковая манжета обычно изготавливается с так называемыми «губками», которые собирают всю смазку со стенок цилиндра перед поршнем, когда поршень движется вперёд. В предыдущей главе мы уже описали механизм, как смазка собирается прямо позади манжеты и передвигается при ударах и отскоках поршня при каждом выстреле. При взводе поршня она частично размазывается по стенкам цилиндра, а при движении поршня вперёд манжета снова собирает эту смазку перед поршнем.

Количество смазки, проходящей перед поршнем при каждом выстреле, можно весьма точно контролировать, меняя «толщину» манжеты. Обычно уплотняющие «губки» манжеты весьма гибкие и даже оказывают небольшое давление на стенки цилиндра, обеспечивая проникновение небольшого количества смазки. А вот позади «губок» собственно основная часть манжеты, которая контролирует накопление смазки за «губками» и, соответственно, её проникновение вперёд. Мы выяснили, что, изменяя диаметр этой части манжеты можно контролировать степень воспламенения смазки. Обычная полиуретановая пластиковая манжета весьма мягкая, поэтому плавно и аккуратно изменить её диаметр достаточно тяжело, разве что быстрым вращением на очень мелкой шкурке.

Обычные системы измерения типа микрометра неприменимы для мягкого пластика, поэтому мы замеряли просто усилие, с которым поршень с манжетой входит в смазанный цилиндр (рис. 6.7). Мы выяснили, что когда цилиндр зажат вертикально в тиски, для продвижения поршня с новой манжетой требуется усилие в 6 фунтов¹ и при этом винтовка функционирует в фазе *porgun*, т.е. количество смазки, проникающей перед поршнем явно недостаточно для достижения максимальной мощности. Затем, уменьшая размер манжеты, мы добились усилия всего в 0.5 фунта² для продвижения поршня, что очевидно очень мало. В результате винтовка стала совершенно нестабильной и показывала очень большой разброс скоростей от достаточно больших до достаточно малых. Проводя дальнейшие эксперименты, мы выяснили, что в нашем случае оптимальной была манжета с усилием продвижения около 2 фунтов³, в этом случае винтовка давала наибольшую скорость без срыва в нестабильность.

В случае кожаной манжеты она собирает смазку со стенок при взведении винтовки и частично впитывает её, взамен той, что сгорела при последнем выстреле, а частично накапливает позади манжеты и при очередном выстреле часть смазки снова сгорает и

¹ Примерно 26.64 Н

² Около 2.22 Н

³ Приблизительно 8.88 Н

заменяется новой и этой цикл повторяется при каждом выстреле. В большинстве винтовок пружина после выстрела продолжает прижимать манжету к дну цилиндра, не давая ей впитывать смазку взамен сгоревшей при выстреле, до тех пор, пока не начнётся процесс взведения винтовки перед очередным выстрелом. Эта проблема легко решается установкой упругой вставки внутрь чаши манжеты, чтобы эта вставка принимала на себя нагрузку пружины и манжета оставалась свободной после выстрела независимо от повторного взведения.



В случае же пластиковой манжеты, при взведении винтовки тонкий слой смазки остаётся на стенках цилиндра, размазываемый «губками» манжеты, а при движении поршня вперёд эти же «губки» собирают смазку со стенок цилиндра перед поршнем до конца цилиндра, где собранная смазка воспламеняется из-за повышения температуры. Хотя такое описание системы кажется весьма неопределённым, на практике это работает весьма устойчиво и стабильно в течение долгого времени, по сути, до момента израсходования смазки. Ни один инженер в здравом уме и трезвой памяти не стал бы проектировать дизельный двигатель, работающий по такому странному принципу, особенно если вспомнить, что мы говорили про удар и отскок поршня, и влияние этого процесса на подачу топлива для сгорания при очередном цикле.

Секрет успеха популярности пластиковых манжет заключается в основном в неровной поверхности цилиндра большинства винтовок. Именно для неровных, шершавых стенок пластиковая манжета является идеальным выбором, поскольку она оставляет масло на микроскопических выступах и впадинах при взводе и собирает его же при выстреле. Если же пластиковую манжету поместить в цилиндр с идеально отполированными стенками, то хотя винтовка будет показывать стабильную скорость, энергетика её будет далека от максимума, поскольку не будет достаточно смазки для сгорания при выстреле. Кожаная же манжета наоборот лучше работает в случае цилиндра с гладкими стенками, поскольку на впитывание масла гладкость стенок не влияет, а вот меньшее трение обеспечивает лучший разгон поршня, соответственно, большее сжатие в конце цилиндра.

Весьма вероятно, что поскольку поршень движется достаточно быстро, то смазка, снимаемая «губками» со стенок превращается в мелкие капельки и образует взвесь в воздухе. Такая взвесь воспламеняется быстрее и эффективнее, чем плёнка масла, снимаемая со стенок цилиндра и формирующая сплошную массу перед поршнем. Подобный аргумент может быть применён и для винтовки с кожаной манжетой. В этом случае смазка накапливается в манжете как в губке и при резком повышении давления разбрызгивается, как вода из губки, образуя опять же воздушную взвесь. В реальности же это пока только теория, которую ещё предстоит подтвердить экспериментом.

Также интересно отметить, что нередко при переборке винтовки, когда старая смазка удаляется, возможно, заменяется пружина, накладывается новая смазка, первая пара выстрелов нередко идёт с невысокой скоростью¹. Затем могут быть несколько выстрелов с повышенной скоростью, прежде чем винтовка придёт к состоянию с нормальными стабильными показателями. Такой разброс скоростей можно объяснить следующим образом: первые несколько выстрелов с низкой энергетикой происходят потому, что смазке из поршня и пружины требуется время, чтобы сформировать «запас топлива» позади манжеты, откуда затем она будет распределять при каждом выстреле. А несколько выстрелов с большой скоростью объясняются попаданием небольшого количества смазки прямо перед поршнем, что приводит к избыточному горению или даже детонации. Однако, следует признать, что реальная причина этих выстрелов достаточно неясна и разъяснение этого феномена может послужить толчком для более глубокого понимания пружинно-поршневой пневматики.

Не все производители используют неровную поверхность цилиндра для получения максимальной эффективности своих изделий, хотя пластиковые манжеты используют практически все. И ещё, вместо того, чтобы оставить поверхность цилиндра как есть, её нередко воронят вместе с остальными деталями оружия. Однако наши исследования показали, что воронение увеличивает силу трения в несколько раз, таким образом, движение поршня может быть сильно замедлено при наличии воронения внутри цилиндра.

Количество смазки, наличествующей перед кожаной манжетой, может быть легко контролируемо изменением её поверхности, контактирующей с воздухом высокого давления. Большинство кожаных манжет имеет в центре металлический или пластиковый диск, через который проходит винт, крепящий манжету к поршню. Если вместо этой поверхности поставить кожаную и убрать «солнечную сторону» с манжеты, то в результате сильно повысится качество впитывания смазки и в итоге винтовка может стать нестабильной из-за наличия избытка сгорающей смазки. Реальное количество смазки, сгорающей при каждом выстреле, независимо от типа манжеты, крайне незначительно, возможно, что-то около одной десятой веса почтовой марки.

¹ Естественно, речь не идёт о случаях, когда в цилиндре «забыли» толстый слой смазки, тогда наоборот первые выстрелы дают сильно завышенную скорость.

И снова вернёмся к тесту на «время поршня». Этот тест отлично показал наличие дефекта в пластиковой манжете, когда кусочек желобка «губки» был каким-то образом откушен, возможно, при неаккуратной установке поршня или по какой-либо другой причине – «время поршня» стало слишком мало, всего лишь несколько секунд, вместо обычных для пластиковой манжеты часов. А вот в случае с кожаной манжетой картина совсем иная. В обычных условиях исправная кожаная манжета показывает «время поршня» заметно меньшее, чем пластиковая манжета, но вот если это время начинает неожиданно возрастать, то это является поводом для проверки манжеты, поскольку, вероятно, возрастание трения сопровождается понижением способности поглощать и собирать смазку, что отрицательно скажется на характеристиках винтовки при стрельбе.

В случае разборки винтовки для замены деталей или просто для осмотра крайне рекомендательно плавно и аккуратно извлекать поршень, чтобы не стряхнуть налипшую на него смазку, поскольку наличие и количество смазки на поршне может дать немало информации о состоянии и работе винтовки. Также и передняя часть манжеты может немало рассказать о состоянии винтовки. Например, если передняя часть манжеты покрыта смазкой, то это значит, что или развивается недостаточное давление для её воспламенения, или, возможно, поршень захватывает слишком много смазки при каждом цикле. Лёгкий коричневый оттенок передней части пластиковой манжеты говорит о том, что всё хорошо и смазка сгорает полностью и вполне эффективно, т.е. винтовка работает в фазе *combustion*. С другой стороны, если винтовка предназначена для соревнований и должна работать только в фазе *popgun*, то передняя часть манжеты должна быть абсолютно сухой и чистой, точно такого же цвета, как и была в исходном виде. С кожаной манжетой всё несколько сложнее, поскольку по своему цвету она практически всегда одинакова, но вот её влажность или сухость может сказать достаточно о качестве и применимости смазки в данной винтовке.

Также пока является спорным вопрос о том, какая манжета кожаная или пластиковая лучше разжимается под давлением воздуха и плотнее прижимается к стенкам цилиндра. Хотя решение этого вопроса могло бы заметно повлиять на улучшение эффективности всей системы в целом путём уменьшения отскока поршня и увеличении давления позади пули.

Фирма *Theoben* создала свою специфичную пластиковую манжету, называемую *Zephyr*. Особенностью этой манжеты является набор радиальных неглубоких канавок, сходящихся к небольшому углублению, которое находится напротив перепускного отверстия. Идея заключается в том, что когда поршень достигает дна цилиндра, оставшийся воздух направляется в перепускное отверстие по этим канавкам, что должно повышать эффективность всей системы в целом (рис. 6.8).

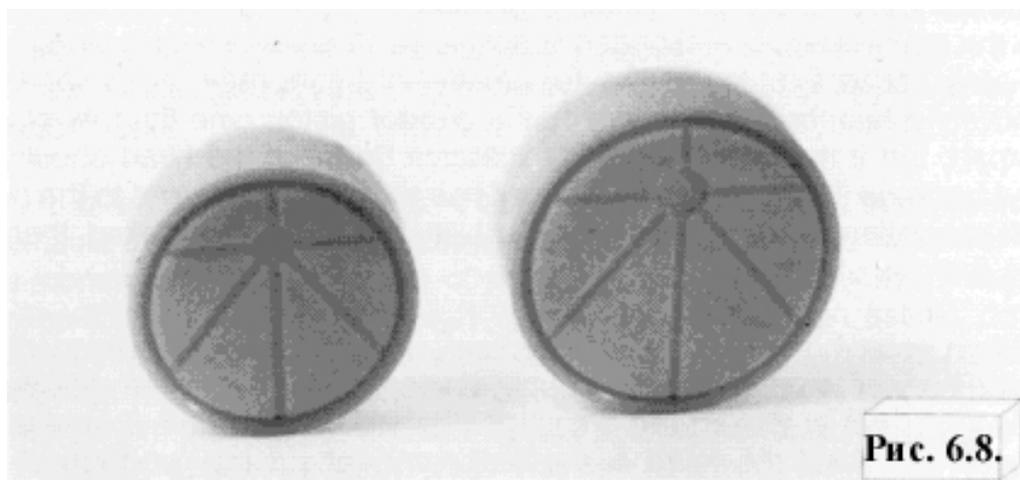


Рис. 6.8.

Глава 7.

Воздух.

Мы все хорошо знаем, что такое пневматическое оружие и также понимаем, что этот термин включает в себя достаточно большое количество различных систем. Наиболее явное разделение можно провести на два типа – пружинно-поршневое пневматическое оружие и компрессионное пневматическое оружие.

В каждом из этих типов пневматического оружия воздух используется по-разному. В пружинно-поршневой конструкции воздух является посредником, средством передачи энергии от медленно двигающегося поршня к быстро двигающейся пуле. В данном случае воздух не добавляет никакой собственной энергии пуле, за исключением случая сгорания смазки. В случае же компрессионной конструкции воздух, по сути, играет роль пружины, накапливающей энергию и отдающей её пуле при нажатии на спуск.

В данной главе мы будем рассматривать поведение воздуха лишь в пружинно-поршневой конструкции, притом для начала разберём случай, когда сгорания смазки не происходит, то есть когда конструкция функционирует в фазе *popgun*. Позже мы рассмотрим и случай, когда воздух добавляет свою энергию пуле за счёт сгорания смазки, то есть когда конструкция начинает работать в фазе *combustion*.

Исторически пневматическому оружию предшествовал лук со стрелами, поэтому интересно сравнить их между собой, поскольку эти конструкции имеют немало общего, в частности, метательный снаряд в обоих случаях выбрасывается за счёт некоторой упругой конструкции. Тем не менее, существует и весьма заметная разница – для лука со стрелами не требуется воздух, в то время, как для пневматического оружия он необходим как посредник между пружиной и метательным снарядом. Воздух необходим, поскольку очень велика разница в массах между достаточно тяжёлой пружиной с поршнем и достаточно лёгкой пулей. Совершенно другая ситуация для лука со стрелами – масса стрелы вполне сопоставима с массой тетивы и лёгкими упругими частями лука, которые отдают свою энергию при выстреле. Воздух в пневматическом оружии можно сравнить с коробкой передач в автомобиле, которая является посредником и передаёт энергию от быстро вращающегося вала двигателя к достаточно медленно вращающимся колёсам.

Очень важно хорошо себе представлять роль воздуха в пружинно-поршневой винтовке, поэтому мы сейчас опишем несколько мысленных экспериментов. Например, если взять ствол винтовки и положить пулю прямо на поршень, то при выстреле она вылетит, но скорость её будет крайне невелика, пределом будет скорость движения поршня внутри цилиндра, то есть около 50 FPS¹ максимум. Вообще-то это очень мало по сравнению с дульной скоростью пули при выстреле из той же винтовки в нормальном режиме. И энергетика пули в случае нашего эксперимента будет также крайне невелика, поскольку пуля достаточно лёгкая.

Если в условиях того же эксперимента мы вместо пули используем тяжёлый шар, то по совершенно тем же причинам скорость его вылета будет приблизительно такая же, но вот дульная энергия будет заметно больше, пропорционально насколько масса шара больше массы пули. Таким образом, получаем, что, используя более тяжёлый метательный снаряд, по массе более близкий к поршню с пружиной, получаем лучший результат, то есть более близкое «соответствие» между «метателем» и метательным снарядом.

Теперь, когда мы выяснили, зачем необходим воздух в пружинно-поршневой конструкции, зададимся вопросом: а какое давление возникает при выстреле внутри винтовки? Этот параметр можно более-менее точно измерить только с помощью пьезокерамического датчика, подключённого к соответствующему усилителю. Этот

¹ Около 15,25 м/с.

датчик достаточно прочный и поэтому может быть вкручен прямо в ствол или цилиндр винтовки, кроме того, они очень полезны при изучении внутренней баллистики. Пьезокерамический датчик преобразует давление в электрический сигнал, который затем проходит через усилитель и результат выводится на осциллограф, картинку с которого можно видеть на **рис. 7.1**. В нашем случае кривой на осциллографе соответствует вертикальная ось давления, и горизонтальная ось времени (не смещения поршня!). Как было указано в главе 5, можно сопоставить смещение поршня и время, соответственно, можно нарисовать график зависимости давления от оставшегося объёма. Эта кривая показана на **рис. 7.2** и на этом графике кривая продолжена несколько дальше точки, в которой пуля уже должна бы вылететь, а давление должно начать спадать.

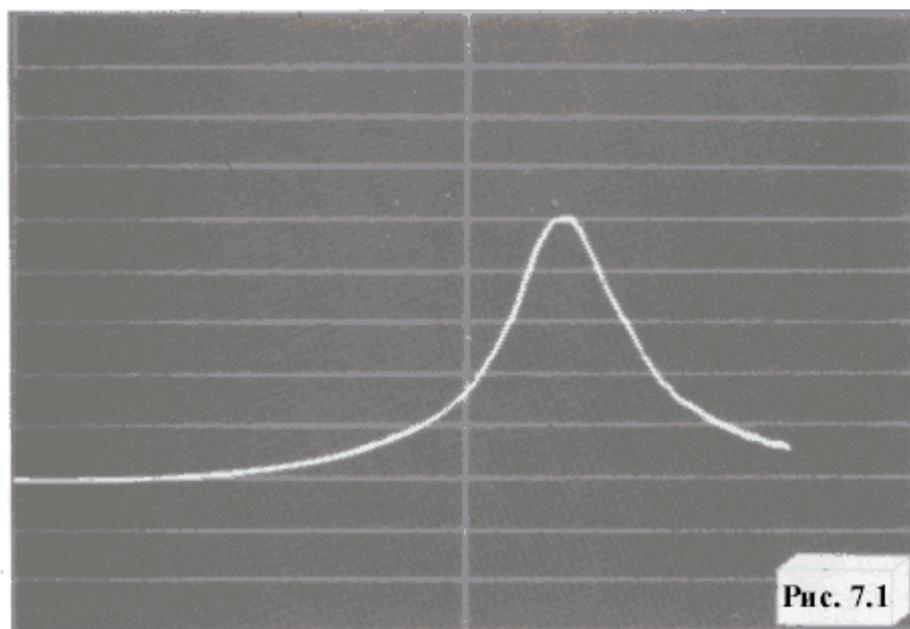
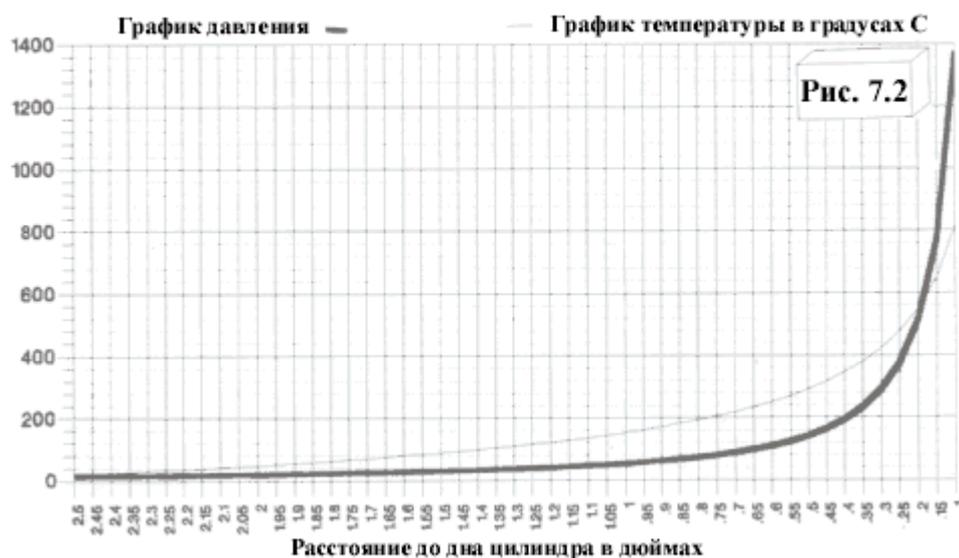


Рис. 7.1

Адиабатическое сжатие (В цилиндре диаметром 1 дюйм)



По этим кривым мы можем установить, что для всех практических целей сжатие можно считать *адиабатическим* и что пиковое давление внутри цилиндра типовой

винтовки составляет порядка 1250 PSI¹. Адиабатичность процесса означает отсутствие теплообмена с окружающей средой. Следует понимать, что это базовый закон физики, что при сжатии температура газа растёт. Если скорость сжатия достаточно велика, чтобы избежать утечки тепла через стенки сосуда, то говорят, что сжатие происходит адиабатически. С другой стороны, если сжатие происходит достаточно медленно и температура успевает уравниваться с окружающей средой, то говорят, что процесс сжатия *изотермический*.

Накачивание велосипедного колеса является неплохим примером изотермического процесса, поскольку накачка производится достаточно медленно и теплообмен успевает произойти. И наоборот, пружинно-поршневая винтовка является примером адиабатического сжатия, поскольку процесс сжатия происходит очень быстро.

Вычисление давления.

Теперь, когда мы выяснили, что сжатие является адиабатическим, мы можем попробовать вычислить теоретическое давление и температуру из следующих уравнений:

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n \quad (1)$$

Это уравнение даёт нам соотношение между давлением и объёмом, где

P_1 - начальное давление,

V_1 - начальный объём,

P_2 - конечное давление,

V_2 - конечный объём,

n – специальный коэффициент теплоёмкости газа², для воздуха $n=1.408$.

$$T_1 \cdot V_1^{n-1} = T_2 \cdot V_2^{n-1} \quad (2)$$

Это уравнение даёт нам соотношение между температурой и объёмом, где

T_1 - начальная температура в градусах Кельвина, (т.е. температура по Цельсию плюс 273 градуса)

T_2 – конечная температура в градусах Кельвина.

Далее, работа, совершённая воздухом (или же совершённая над воздухом) вычисляется по формуле:

$$\text{Работа} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{n - 1} \quad (3)$$

Перед применением любого из этих уравнений к нашей проблеме, мы должны полностью осознать, как в реальности сжимается воздух в цилиндре. На первый взгляд это кажется совершенно очевидным, хотя на деле оказывается гораздо сложнее, чем кажется.

При нажатии на спуск, поршень освобождается и начинает своё движение вперёд, толкаемый сжатой пружиной. С самого момента освобождения поршень толкает воздух в цилиндре во всё более маленький объём, что приводит к повышению давления. Однако в некоторый момент времени поршень уже не может больше сжимать воздух и начинает движение назад, а потом снова вперёд, другими словами, поршень отскакивает.

Точно такой же процесс можно наблюдать и на велосипедном насосе, если предположить, что он полностью герметичен, поставить его вертикально, оттянуть рукоять вверх и прикрепить к ней груз, а затем отпустить, то поршень точно также пойдёт вниз, а потом отразится от подушки сжатого им же воздуха.

¹ Около 85 атмосфер.

² В отечественной физике коэффициент n в адиабатическом процессе носит название коэффициента Пуассона или показателя адиабаты.

Этот процесс в цилиндре пружинно-поршневой винтовки протекает с очень большой скоростью: весь цикл занимает примерно 15 миллисекунд (за это время пуля, летящая со скоростью 500 FPS, пройдёт расстояние в 7.5 Ft¹).

Как было указано в главе 1, в момент, когда поршень останавливается и начинает своё движение назад, пуля уже стронулась и начинает ускоряться. Другими словами, пуля держится на месте, пока не будет достигнуто максимальное давление, затем сила трения покоя пули преодолевается, и она начинает двигаться по стволу. В этот же момент поршень уже не может сжимать дальше воздух из-за своей уже малой скорости и, соответственно, малой энергии. С этого момента поршень начинает движение назад под воздействием сжатого воздуха перед ним. Эти два события происходят одновременно, если сила трения покоя пули соответствует данной винтовке (подробнее в главе 9). Без этого важного фактора соответствия, эти два события будут происходить не одновременно, что приведёт к падению эффективности всей системы в целом.

График перемещения поршня от времени, приведённый на **рис. 5.1**, показывает ускорение поршня от момента спуска крючка и до момента касания поршнем передней стенки цилиндра, с учётом одного отскока поршня от подушки сжатого им же воздуха.

Как видно из этого графика, точка минимального объёма соответствует положению поршня на расстоянии 0.10 дюйма² от дна цилиндра. Поскольку это точка наименьшего объёма, то в этой же точке должно достигаться наибольшее давление. Теперь мы можем вычислить максимальное давление. Обозначим объём в этой точке за V₂.

Применяем уравнение (1):

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

P₁ – обычное атмосферное давление, поскольку когда поршень начинает своё движение, давление ещё атмосферное.

V₁ – начальный объём, то есть объём цилиндра перед поршнем.

Поскольку цилиндр имеет диаметр 1 дюйм, и ход поршня составляет 2.5 дюйма, то можно вычислить объём:

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3.142 \cdot 0.5^2 \cdot 2.5 = 1.964 \text{ кубических дюймов}^3.$$

$$P_1 = 14.7 \text{ psi}^4$$

$$V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3.142 \cdot 0.5^2 \cdot 0.1 = 0.0785 \text{ кубических дюймов}^5.$$

$$\text{Соответственно } P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n$$

$$\text{Отсюда } P_2 = \mathbf{1366 \text{ PSI}^6}.$$

Поскольку вышеприведённый расчёт описывает не конкретный случай, а общую методику, поэтому в этом вычислении не учитывается объём перепускного отверстия, особенно с учётом того, что в наших экспериментах мы меняли размер и форму перепускного отверстия. Однако, при желании несложно вычислить объём перепускного отверстия и добавить его к обоим объёмам V₁ и V₂ в начале вычислений.

Полученное значение P₂ кроме всего прочего является максимальным давлением, получаемым в цилиндре при выстреле. Следует отметить, что это максимальное давление

¹ Пуля со скоростью 152,5 м/с пройдёт расстояние 2,29 м.

² Около 2,54 мм

³ Диаметр цилиндра 2,54см, ход поршня 6,35см, объём цилиндра 32,18 кубических сантиметра

⁴ Давление в 1 атмосфере.

⁵ Диаметр цилиндра 2,54см, зазор 0,254 см, объём цилиндра 1,286 кубических сантиметра

⁶ То есть давление примерно 92,9 атмосфер.

достигается только на короткий момент времени, поскольку дальше поршень начинает движение назад и давление начинает быстро падать. Если посмотреть на **рис. 7.2**, то можно заметить, что смещение назад поршня всего лишь на 0.02 дюйма¹ приводит к спаду давления с 1350 PSI до 1000 PSI². И дальнейшее падение до 500 PSI происходит при смещении поршня на 0.1 дюйма³.

Вычисление температуры.

Во время движения поршня вперёд, его кинетическая энергия расходуется не только на сжатие воздуха, но и на его нагревание. Таким образом, температура достаточно быстро растёт во время экспоненциального роста давления. Новая температура может быть вычислена из уравнения (2):

$$T_1 \cdot V_1^{n-1} = T_2 \cdot V_2^{n-1}$$

T_1 – комнатная температура = 20°C = 20+273 = 293 K.

$V_1 = 1,964$ кубических дюйма (как и ранее)

$V_2 = 0,0785$ кубических дюйма (как и ранее)

Соответственно $T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$

Отсюда $T_2 = 1098$ K = **816°C**.

При такой температуре неудивительно, что смазка воспламеняется и винтовка начинает, как говорят, «дизелить».

И ещё раз следует отметить, что такая температура, также как и давление возникает лишь на очень короткий промежуток времени, а график зависимости изменения температуры от смещения поршня можно видеть на **рис. 7.2**.

Как мы отмечали в определении адиабатического процесса, не происходит теплообмена между газом и окружающей средой во время выстрела. Хотя температура и поднимается, но этот подъём относится исключительно к внутренней энергии газа, поскольку просто не хватает времени на прохождение эффективного теплообмена между нагретым газом и окружающей средой.

Если предположить, что поршень зафиксирован в передней точке, то есть точке максимального сжатия, то тогда уже пойдёт теплообмен между газом и окружающей средой до тех пор, пока температура газа не сравняется с температурой окружающей среды. Соответственно, сжатие уже не будет адиабатическим. Поскольку будет падать температура, то будет падать и давление, даже если предположить, что утечек воздуха нет. По сути, давление будет падать до значения, которое могло бы быть получено при изотермическом сжатии аналогичного объёма воздуха.

Теперь мы можем вычислить работу, которую совершает поршень при сжатии воздуха. Используем уравнение (3):

$$\text{Работа} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{n - 1}$$

Используем ранее найденные величины давления и объёма:

$P_1 = 14.7$ PSI

$V_1 = 1,964$ кубических дюйма (как и ранее)

$P_2 = 1366$ PSI

$V_2 = 0,0785$ кубических дюйма (как и ранее)

$n = 1.408$.

¹ Примерно 0.5мм

² Спад давления с 91.8 атмосфер до 68 атмосфер.

³ Смещение на 2.54мм и падение давления до 34 атмосфер.

Подставляя эти величины, получаем, что:

$$\text{Работа} = 192.235 \text{ in}\cdot\text{lbs} = 16.0 \text{ Ft}\cdot\text{lbs}^1.$$

Таким образом, мы видим, что энергия, необходимая для сжатия воздуха до давления 1366 PSI составляет 16.0 Ft·lbs, кроме того, это максимум энергии, которая может содержаться в воздухе при сжатии до данного давления. Следует также отметить, что при таком давлении понижение его на 64 PSI означает падение энергии до 15 Ft·lbs.

Если бы поршень удалось зафиксировать в передней точке, то все 16 Ft·lbs были бы истрачены на разгон пули в стволе, однако в реальности поршень отскакивает назад, забирая часть накопленной энергии. По тем же уравнениям адиабатического сжатия мы посчитаем, сколько энергии остаётся после отскока поршня назад, то есть при расширении воздуха. Расчёт, правда, несколько усложняется, поскольку в этот момент пуля уже начала двигаться вперёд, поэтому потребуется учесть и дополнительный объём позади пули.

Постулируем, что поршень отскакивает на 0.4 дюйма от дна цилиндра, а пуля в это время прошла 7 дюймов от казённого².

Тогда из уравнения (1):

$$P_2 = 1366 \text{ PSI}$$

$$V_2 = 0.0785 \text{ кубических дюймов}$$

$$V_1 = \text{Объём в цилиндре} + \text{Объём в стволе}$$

$$= \pi \cdot (0.5)^2 \cdot 0.4 + \pi \cdot (0.11)^2 \cdot 7 = 0.5803 \text{ кубических дюймов}^3$$

$$\text{Отсюда } P_1 = 81.7 \text{ PSI}^4.$$

Это давление в цилиндре после отскока поршня назад. Теперь снова посчитаем работу, совершённую газом при расширении, используя уравнение (3):

$$\text{Работа} = 146.6 \text{ in}\cdot\text{lbs} = 12.2 \text{ Ft}\cdot\text{lbs}^5.$$

Вычитая это значение из исходной энергии газа в 16.0 Ft·lbs, получаем, что после отскока поршня в сжатом воздухе осталось энергии всего лишь 3.8 Ft·lbs⁶.

Теперь мы можем рассмотреть, куда расходуется 12.2 Ft·lbs энергии. Из графика энергии пружины (**рис. 3.1**) видно, что на сжатие пружины на 0.4 дюйма расходуется около 1.9 Ft·lbs энергии. Эта энергия, по сути, теряется, поскольку повторное сжатие пружины никакой пользы для эффективности винтовки не приносит. Также мы знаем, что когда пуля сдвинулась на 7 дюймов по стволу, она движется со скоростью, соответствующей энергии в 5.8 Ft·lbs (**рис. 9.1**). Соответственно, у нас осталось ещё 4.5 Ft·lbs энергии, которую мы ещё никуда не приписали⁷. Возможно, большая часть этой энергии рассеивается в виде тепла, поскольку, хотя процесс и выглядит адиабатическим, на самом деле часть тепла всё же теряется при контакте с относительно холодными стенками цилиндра. Кроме того, при таком высоком давлении даже незначительная

¹ Что составляет около 21,69 Дж

² Отскок поршня в 10,16 мм, а пуля сместилась на 177,8 мм от казённого

³ Судя по данным калибр винтовки 0.22 дюйма, то есть 5.5 мм, а объём соответственно 9,51 кубических сантиметра

⁴ Около 5,56 атмосферы

⁵ Примерно 16,54 Дж

⁶ Около 5,15 Дж

⁷ Соответственно 2,58 Дж на пружину, 7,86 Дж на пулю и 6,1 Дж остаётся.

ошибка, например, в измерении смещения поршня, приведёт к значительной ошибке в вычислении энергии.

В начале главы мы уже отмечали, что воздух работает по-разному в зависимости от того, функционирует ли винтовка в фазе *popgun* или же в фазе *combustion*. Выше мы привели расчёты, показывающие, как воздух передаёт энергию от пружины к пуле для винтовки, работающей в фазе *popgun*.

В случае же функционирования в фазе *combustion*, ситуация совершенно иная, поскольку вместо потерь энергии в воздухе происходит наоборот её выделение за счёт сгорающей смазки. Количество смазки, сгорающей за каждый выстрел, очень мало и измерить его практически невозможно. Мы пробовали применять разные методики, в том числе и взвешивание на точных весах винтовки до и после выстрела. Однако, такая методика хоть и относительно проста, но не слишком точна, поскольку часть недогоревшей смазки вылетает из ствола в виде дыма, а не сгорает при выстреле внутри цилиндра, другая часть в виде мелкодисперсной взвеси вылетает из ствола за пулей. Тем не менее, с помощью экспериментов и вычислений можно попробовать получить достаточно точный ответ.

В главе 5 мы уже описали, как смазка попадает с витков пружины и стенок поршня через его манжету в пространство перед поршнем. Кроме того, в главе 2 мы продемонстрировали, что нормально смазанная винтовка, предназначенная для работы в фазе *combustion*, выдаёт всего лишь 45% своей максимальной энергии, если вокруг нет кислорода для обеспечения возгорания смазки. Это доказывает, что в винтовке, по сути, существует «дизельный двигатель» с надёжной подачей топлива, и что сгорание этого топлива заметно увеличивает энергию вылетающей пули.

Максимальное количество смазки, которая может сгореть при выстреле, можно оценить исходя из объёма воздуха в цилиндре перед сжатием. Кроме того, известно, что в 14.4 граммах воздуха может сгореть примерно 1 грамм смазки. Соответственно, исходя из среднего объёма цилиндра у винтовки порядка 60 кубических сантиметров, получаем, что за выстрел максимум может сгореть около 80 мг смазки¹.

Однако, быстро движущийся поршень тратит всего лишь около 7 миллисекунд чтобы пройти весь путь, а при прочих идеальных условиях смазке необходимо приблизительно 3 миллисекунды чтобы полностью сгореть. Соответственно, требуется очень точный подбор параметров, чтобы возгорание происходило в нужный момент, иначе энергетика выстрела не будет максимальной, притом на момент воспламенения смазки влияет огромное количество трудно учитываемых факторов.

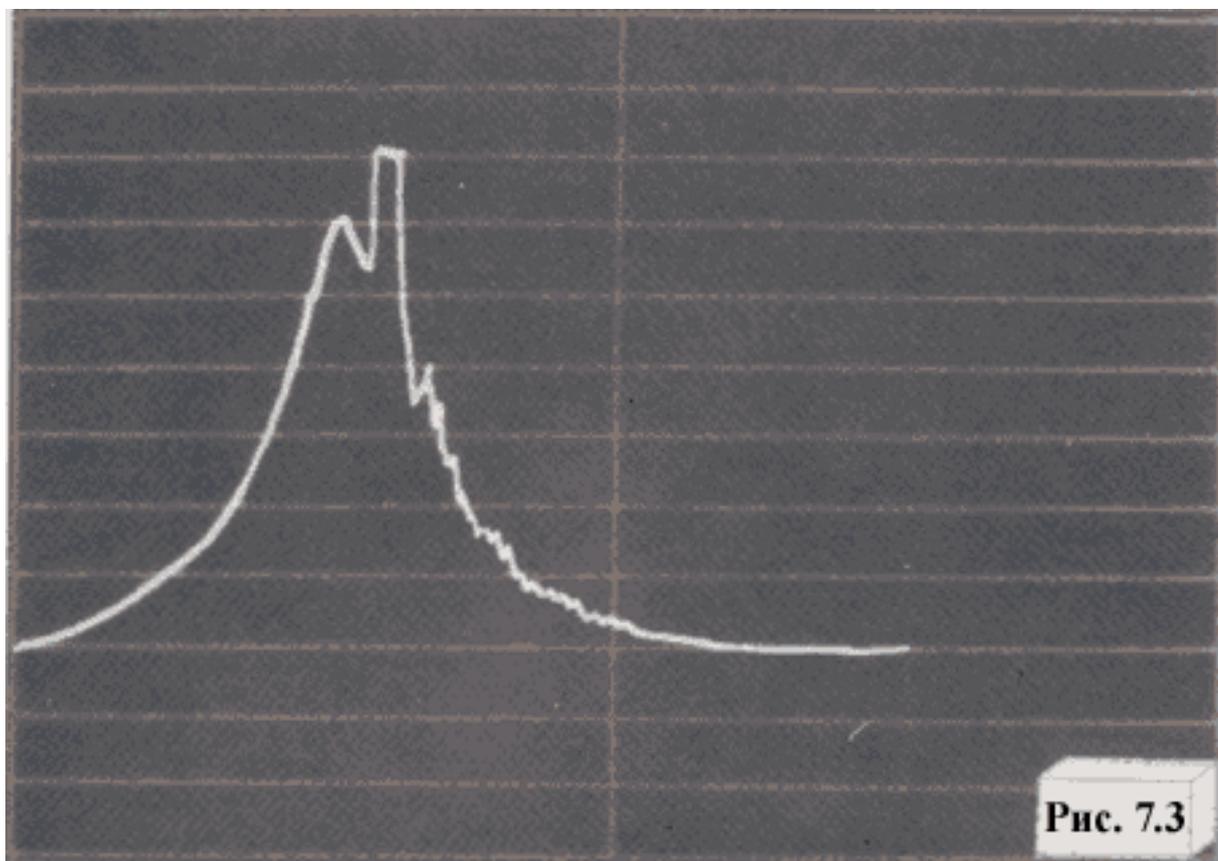
Когда происходит возгорание, давление в цилиндре растёт ещё быстрее и выше, что видно на **рис. 7.3**. Кривую можно продолжить и чуть дальше за плато, чтобы образовался пик, однако, электронный усилитель зафиксировал именно такой сигнал.

Нередко наблюдается интересный эффект, когда установка более мощной пружины в винтовку не даёт ожидаемого прироста скорости пули. Это происходит из-за того, что поршень движется вперёд слишком быстро и не оставляет достаточно времени для сгорания смазки. В итоге воздух и несгоревшая смазка вылетают из ствола и соответственно, наблюдается незначительный прирост энергии или вообще отсутствие прироста энергии пули, поскольку винтовка, по сути, начинает склоняться к функционированию в фазе *popgun*.

Вес и трение пули в стволе также сильно влияют на развитие процесса сгорания. Если пуля сидит в стволе достаточно туго, то требуется большее давление, чтобы стронуть её с места, это даёт больше времени на сгорание смазки и, соответственно, больше энергии передастся пуле. Тем не менее, и тут не всё так просто – пуля со слишком

¹ У меня почему-то получаются совсем другие данные – 60 кубических сантиметров воздуха весят 0.078 грамма, соответственно, сгореть может лишь 5.42 мг смазки.

большим трением также не будет идеальным решением, поскольку будут огромные затраты на продвижение её по стволу и результат опять будет далеко не идеальный. Следовательно, требуется тщательный подбор пули, чтобы её вес и сила трения соответствовали данной винтовке и только в этом случае будет достигнута максимальная дульная энергия.



Любая пневматическая винтовка может содержать лишь то количество воздуха, которое соответствует объёму её цилиндра. Однако, возникает вопрос из серии «А что если...» - ведь объём содержащегося воздуха можно увеличить, если увеличить давление перед выстрелом. Мы проверили и такую идею, подсоединив винтовку к небольшому компрессору через специальное отверстие в цилиндре, прямо перед взведённым поршнем. Была произведена серия выстрелов с повышением давления от атмосферного до 75 PSI¹, однако, при повышении давления скорость пули только падала. И наоборот, когда мы пытались создавать небольшое разрежение в цилиндре, скорость также падала. Другими словами, в пружинно-поршневой винтовке уже подобраны факторы таким образом, чтобы обеспечивать наилучшую работу при атмосферном давлении, а изменение этого давления требует некоторого изменения других факторов для компенсации, например, силы пружины. Таким образом, можно сказать, что энергия пружинно-поршневой винтовки изменяется с давлением воздуха, правда, на достаточно незначительную величину.

Есть весьма широко известный факт, что большинство пружинно-поршневых винтовок разгоняют лёгкие пули заметно быстрее тяжёлых, при этом разница в скорости больше, чем разница в весе, то есть энергия у лёгких пуль выше. Этот факт можно объяснить тем, что возможно, из-за очень короткого времени разгона пули по стволу, лёгкая пуля успевает набрать скорость быстрее, чем тяжёлая. Кроме того, вес пули,

¹ Примерно 5 атмосфер

возможно, влияет на время её вылета и, соответственно, по-разному протекает процесс сгорания смазки при выстреле. С другой стороны, более тяжёлая пуля, как правило, показывает большую энергию, чем лёгкая при выстреле из компрессионной винтовки. Это происходит потому, что при выстреле из компрессионной винтовки за каждый выстрел выходит заметно большее количество воздуха и, кроме того, высокое давление сохраняется на большей части ствола и лучше разгоняет тяжёлую пулю.

Небольшой дымок из ствола является неплохим, хотя и не идеальным индикатором эффективности взаимодействия воздуха со смазкой. Если поршень поставляет постоянное и ровно необходимое количество смазки при каждом выстреле, то дым заметить будет практически невозможно. Можно переломить ствол и посмотреть на наличие лёгкого золотистого тумана в стволе сразу после выстрела, этот туман неплохо заметен на просвет. Кроме того, можно заметить лёгкий запах сгоревшего масла из ствола. При указанных выше условиях, скорость будет достаточно стабильна. А вот если из ствола появляется тёмный дым, а скорость достаточно велика, то это уже плохой признак. Однако, это ещё не конец истории. Мы провели серию экспериментов, чтобы попытаться выяснить зависимость между дымом из ствола и скоростью пули. Мы установили две гидравлические манжеты на поршень, вместо одной стандартной.

Это уплотнение можно видеть на **рис. 7.4**, оно обеспечивает герметичность, как для воздуха, так и для смазки, не пропуская её вперёд поршня. Небольшой кусок кожи, который размещён спереди манжеты, предназначен для поглощения смазки, которую впрыскивают через перепускное отверстие с помощью шприца для подкожных инъекций. Поршень в этот момент слегка отодвигался от дна цилиндра, чтобы обеспечить свободный доступ к кожаному лоскуту на манжете.

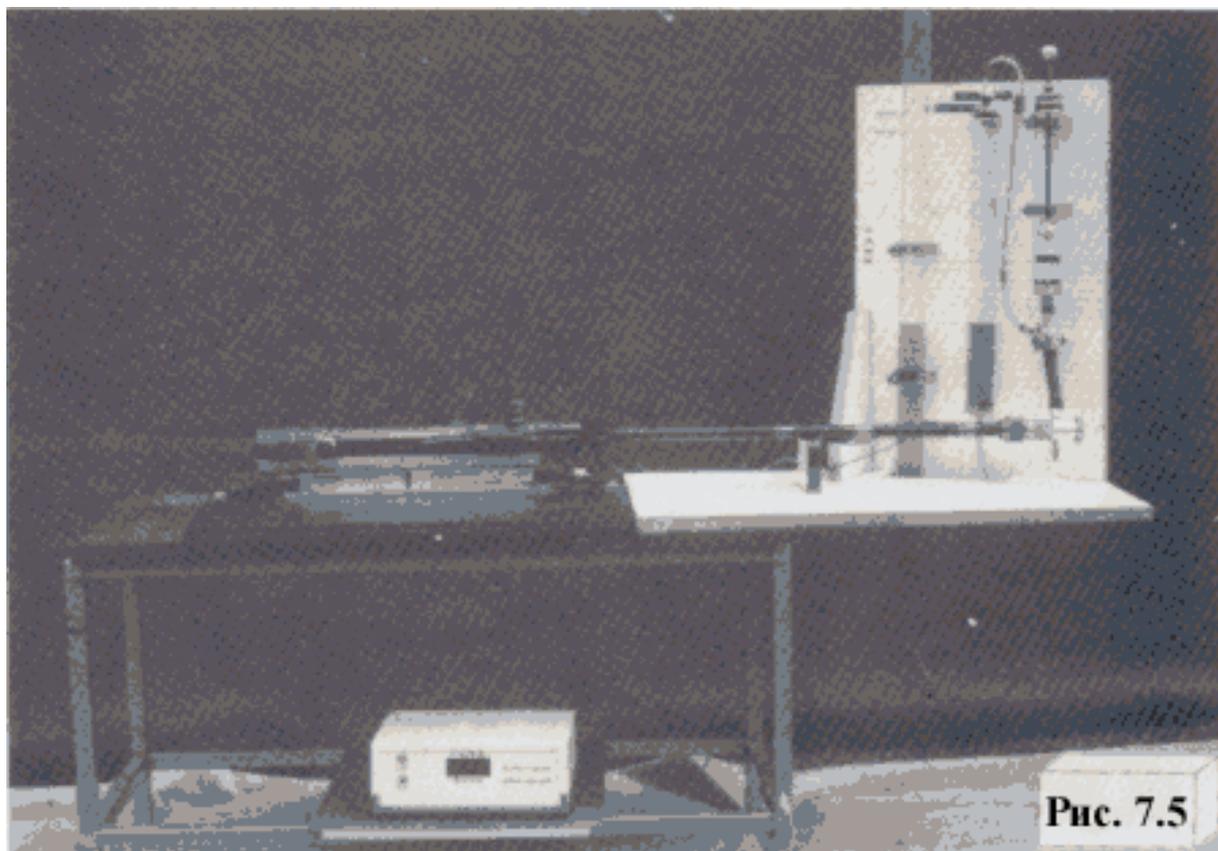


Мы достаточно быстро убедились, что обильный дым из ствола является достаточно точным признаком высокой скорости, хотя и с невысокой стабильностью. Мы также предположили, что это из-за неэффективного сгорания смазки и, соответственно, когда плотность дыма понизилась, скорость также понизилась, но зато её стабильность повысилась. Следует также отметить, что разные типы смазки сгорали за разное количество выстрелов и, кроме того, разные типы смазки демонстрировали разную скорость при одном и том же количестве смазки.

Кстати, следует отметить, что в комбинации с предыдущим экспериментом по изменению давления, мы наблюдали интересный эффект, когда количество дыма резко возрастало при понижении давления в цилиндре перед выстрелом. При этом и скорость заметно падала по сравнению с обычными показателями. Это помогло нам представить, что же происходит в цилиндре при выстреле. Во-первых, низкое давление высасывает смазку в пространство перед поршнем и в то же время более низкое содержание кислорода не позволяет этой смазке полностью сгореть, в результате чего смазка вылетает наружу в виде дыма. Таким образом, мы оказались в ситуации, противоречащей тому, что мы говорили ранее, что большое количество дыма соответствует высокой, хотя и

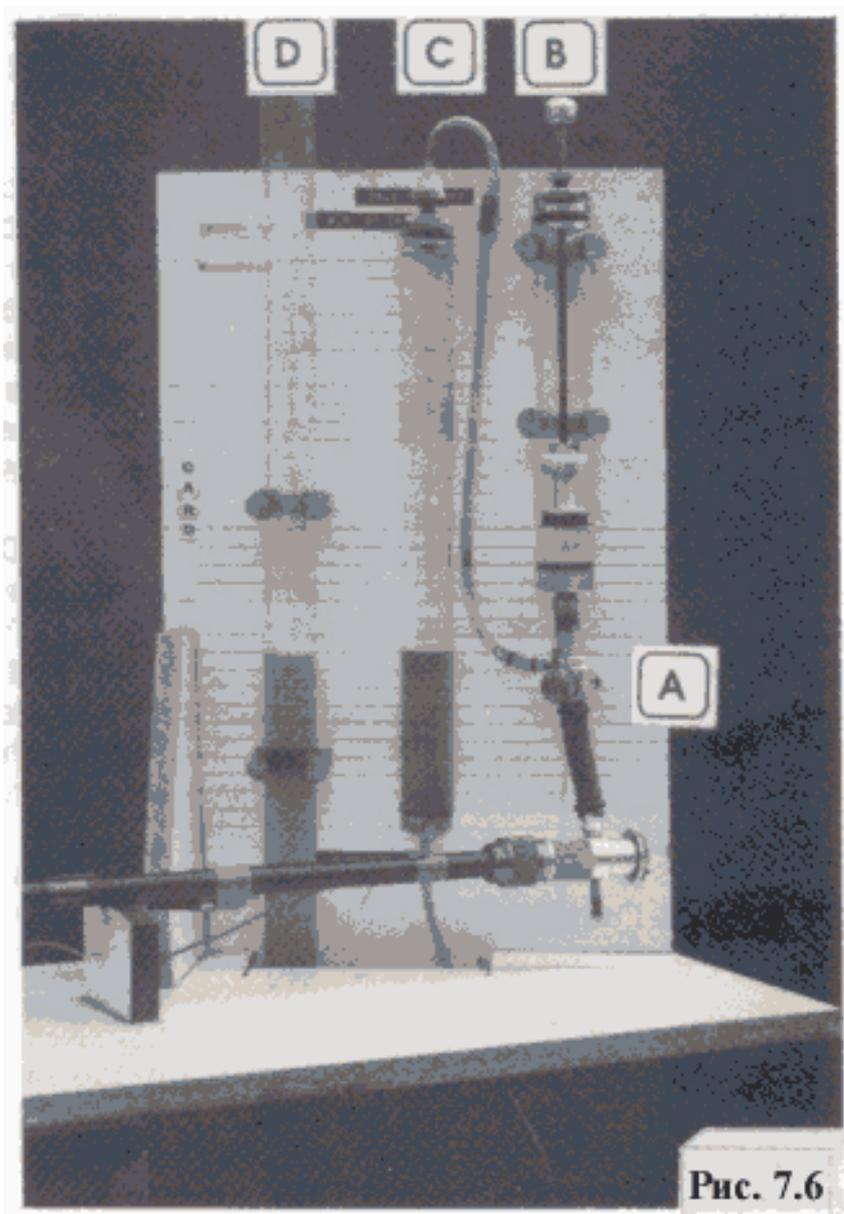
нестабильной скорости. Винтовка в данном случае выдавала достаточно много дыма, но скорость вылета пули была невелика. Вероятно, и здесь тоже существует оптимум, то есть при некоторой плотности дыма достигается максимум скорости, а при отклонении от этого оптимума в любую сторону скорость снижается.

Как мы уже установили, высокая температура и давление при выстреле приводят к воспламенению смазки и, соответственно, добавлению энергии пуле. Мы пошли дальше и решили измерить, какой дополнительный объём газа выделяется при сгорании смазки. Для этого мы плотно прикрепили к дульному срезу колпачок, который должен был поймать пулю при выстреле, а газ прошёл бы мимо и раздул бы детский шарик. Для начала мы проверили, насколько раздувается шарик при плавном перемещении поршня в цилиндре, и затем собрали винтовку. Результаты отстрела нас поначалу несколько озадачили, поскольку шарик сначала раздулся, а потом медленно немного сжался. Это дополнительное расширение происходило из-за более высокой температуры газа, однако, даже после охлаждения газа объём шарика после выстрела был всё равно несколько больше, чем объём его при плавном перемещении поршня.



Этот эксперимент показал, что хотя идея и неплохая, но реализация её недостаточно качественная. Поэтому мы создали более серьёзный тестовый стенд, который более надёжно крепился к используемой в эксперименте винтовке калибра 0.22. Конструкцию этого стенда можно видеть на **рис. 7.5** и **рис. 7.6**. С помощью этого снаряжения мы смогли, наконец, измерить добавочный объём, получаемый при функционировании в фазе *combustion* винтовки с объёмом воздуха в цилиндре перед выстрелом до 98 кубических сантиметров. Кроме того, данный стенд позволил одновременно с объёмом газа измерять и скорость вылета пули с помощью встроенного хронографа.

На практике гибкое соединение с втулкой **A** отсоединяется на время зарядки и взведения винтовки. Далее соединение с втулкой **A** возвращается на место и переключатель ставится таким образом, чтобы ствол винтовки был соединён лишь с цилиндром **B**. В цилиндре **B** находится лёгкий поршень, практически без трения, его передвигают в нижнее положение перед присоединением винтовки и после этого производят выстрел. Пуля покидает ствол и останавливается в чашке пулеулавливателя, а газ проходит в цилиндр **B**, поднимая поршень. После этого переключается соединение между цилиндрами **B** и **C**, после чего поршень снова возвращают в нижнее положение, выдавливая воздух в цилиндр **C**. Воздух, приходящий в цилиндр **C** выжимает из него подкрашенную воду в цилиндр **D**, соответственно изменяя уровни жидкости и давления. После этого цилиндр **D** перемещают в его креплениях до тех пор, пока уровень жидкости в цилиндрах **C** и **D** снова не совпадут. Это будет означать, что в цилиндре **C** теперь снова атмосферное давление, которое, естественно, такое же, с которого начинался цикл выстрела из винтовки. Поскольку весь объём сгоревших газов должен быть в цилиндре **C**, то объём воздуха в цилиндре **C** должен быть больше, чем исходный объём воздуха в винтовке.



Таким образом, теперь мы можем вычислить дополнительный объём газов при сгорании смазки, зная объём газа в цилиндре *C* и объём цилиндра винтовки.

С помощью этой аппаратуры мы могли впрыскивать через перепускное отверстие в цилиндр масло, жир, воду или любую другую жидкость и измерять увеличение или уменьшение объёма воздуха, выходящего из винтовки при выстреле. Конечно, впрыскивание чего ни попадя в цилиндр это не очень хорошая идея и мы отлично осознавали, что, вероятно, испортим пружину, но это была разумная цена за полученные данные из серии экспериментов.

После большой серии экспериментов стало ясно, что объём дополнительных газов, выходящих из ствола, находится в прямой зависимости от получаемой скорости, а также зависит от впрыскиваемого в цилиндр вещества. Максимальное количество дополнительных газов от сгорания смазки (18%) было зафиксировано при скорости вылета пули 840 FPS¹. Следует отметить, что добавочный объём газов весьма заметно изменял эффективность всей системы в целом.

В одном из экспериментов в цилиндр было впрыснуто небольшое количество четырёххлористого углерода, который по своему действию подобен азоту и должен пресечь возможность воспламенения смазки. В результате мы получили скорость пули в 460 FPS, что весьма недалеко от полученной в ходе эксперимента с азотом скорости пули в 426 FPS².

Теперь обратимся к более жизненным результатам, полученным в ходе этого эксперимента. В частности, была получена достаточно стабильная и высокая скорость пули в 649 FPS при нормальном количестве смазки в цилиндре. При этом количество избыточных газов составило 12%. В качестве сравнения мы можем опять сослаться на эксперимент с азотом, где была получена максимальная скорость в 636 FPS³. В результате мы убедились, что максимальные и минимальные показатели скорости достаточны для того, чтобы подтвердить необходимость наличия небольшого количества смазки для получения максимальной скорости. Кроме того, добавочный объём газов является индикатором того, что винтовка действительно работает в фазе *combustion*.

Как это ни странно, но в ходе экспериментов мы убедились, что одни масла дают большую скорость, чем другие. Это удивительно потому, что калорийность различных масел (то есть количество тепла, выделяемое при сгорании) различается незначительно. Возможно, ответ заключается в различном перемешивании смазки с воздухом, когда поршень движется вперёд. Если при этом образуются мелкие капли или туман, то, очевидно, сгорание будет более эффективным, нежели в случае образования тонкой плёнки.

¹ Около 256,2 м/с.

² Соответственно 140,3 м/с и 129,93 м/с.

³ Примерно 197,95 м/с и 193,98 м/с.

Глава 8. Перепускное отверстие.

Перепускное отверстие, которое на деле является небольшим отверстием, соединяющим цилиндр и ствол, может быть рассмотрено с двух точек зрения. Во-первых, как проход для воздуха, в случае функционирования винтовки в фазах *blowpipe* или *porpup*. Во-вторых, его можно рассматривать как камеру сгорания для винтовки, функционирующей в фазах *combustion* или *detonation*. Мы пока будем рассматривать перепускное отверстие именно как проход для воздуха из цилиндра в ствол.

Многие годы перепускное отверстие привлекало к себе большой интерес айрганеров. Некоторые пытались его рассверливать, считая, что большее отверстие должно соответствовать большей скорости. Однако, как и во многих других случаях с пружинно-поршневой пневматикой, здесь ситуация оказалась не так проста, поскольку рассверливание отверстия, как правило, приводило к разбалансировке других факторов и в итоге скорость нередко даже падала, вместо того, чтобы увеличиваться. Основная трудность состоит в том, чтобы понять, какие факторы влияют на перепускное отверстие.

При исследовании перепускного отверстия следует обратить внимание на три его основных параметра: (I) его диаметр, (II) его длина, (III) его форма.

Прежде чем приступить к изучению этих параметров, следует понять, что всё же происходит, когда воздух стремительно протекает через перепускное отверстие. Итак, поршень движется вперёд, давление перед ним (и соответственно за пулей) нарастает. В момент наступления пикового давления пуля срывается с места (естественно при правильном подборе пули) и начинает ускоряться вдоль ствола. Давление за пулей немедленно падает, а давление в цилиндре по-прежнему высоко, соответственно, воздух начинает стремительно протекать через перепускное отверстие, чтобы уравнять давления. С этого момента создаётся воздушный поток, протекающий из цилиндра в ствол. Однако для дальнейшего разгона пули поток должен усиливаться, а это возможно только при всё большей разнице давлений за пулей и в цилиндре.

Когда давление в стволе начинает составлять примерно половину давления в цилиндре, возникает условие так называемого «критического расхода», когда воздушный поток выходит на некоторую постоянную скорость и увеличение этой скорости возможно только при увеличении давления в цилиндре. Но в это же время давление в цилиндре падает из-за движения поршня назад, это значит, что пуля больше не может ускоряться, а будет только продолжать движение по стволу с той же скоростью, поскольку скорость воздушного потока больше не увеличивается.

Единственный способ увеличить эффективность потока в этом случае – это увеличение давления в цилиндре или же хотя бы поддерживать максимальное давление на протяжении большего времени, зафиксировав поршень в передней точке. Наши попытки в этом направлении уже были ранее описаны и вполне очевидно, что всё это «проще сказать, чем сделать».

Когда достигается «критический расход», поток воздуха формирует в перепускном отверстии ударные волны, поскольку при этих условиях скорость воздушного потока равна или даже больше, чем локальная скорость звука. Следует напомнить, что локальная скорость звука может изменяться в зависимости от давления и температуры в перепускном отверстии, через которое проходит воздух при выстреле, и эта скорость может весьма отличаться от скорости звука при нормальных условиях, которая составляет около 1100 FPS¹.

Из всего вышесказанного следует, что жизненно необходимо минимизировать сопротивление воздушному потоку, чтобы обеспечить пуле наилучший разгон до того, как

¹ Соответственно 335,5 м/с.

наступит момент «критического расхода». Теперь мы обсудим влияние трёх факторов перепускного отверстия, выделенных выше, на формирование воздушного потока.

Диаметр перепускного отверстия напрямую зависит от калибра винтовки, поскольку если отверстие будет больше, чем калибр, то возникает вероятность проваливания пули в цилиндр. Для нахождения оптимального диаметра отверстия для конкретной винтовки мы воспользовались методом проб и ошибок. Для этого исходное отверстие было рассверлено до диаметра 0,375 дюйма, и был изготовлен набор сменных втулок с отверстиями от 0,0625 дюйма до 0,172 дюйма¹. Для этого эксперимента использовалась винтовка с переламывающимся стволом, что сильно облегчало доступ к перепускному отверстию. Винтовка не была очень мощной по современным стандартам – диаметр цилиндра составлял 1 дюйм, а ход поршня 2,5 дюйма, что давало рабочий объём цилиндра в 1,96 кубических дюймов².

С помощью этой конструкции мы могли проводить любое количество экспериментов с каждым из размеров перепускного отверстия при прочих практически идентичных условиях. Следующая таблица показывает зависимость скорости пули калибра 0.22 дюйма³ от диаметра перепускного отверстия.

<i>Диаметр перепускного отверстия (длина отверстия 19мм)</i>		<i>Средняя скорость пули калибра 0,22 дюйма</i>	
<i>дюймы</i>	<i>мм</i>	<i>FPS</i>	<i>м/с</i>
1/16	1,59	334	101,87
5/64	1,98	338	103,09
3/32	2,39	420	128,1
7/64	2,78	424	129,32
1/8	3,18	428	130,54
9/64	3,58	425	129,625
5/32	3,96	423	129,015
11/64	4,37	414	126,27

Как видно из этой таблицы, наиболее оптимальным оказался диаметр перепускного отверстия в 1/8 дюйма. Притом изменение этого диаметра в любую из сторон приводит лишь к падению скорости. В случае уменьшения диаметра объяснение вполне очевидно – меньший диаметр отверстия создаёт большее сопротивление воздушному потоку. В случае же большего диаметра объяснить падение скорости тяжелее. Возможно, что при большем диаметре перепускного отверстия образуется избыточный «мёртвый объём», который приводит к падению максимального давления и, соответственно, понижению скорости вылета пули.

Позже мы повторили этот же эксперимент уже с более солидной винтовкой, диаметр цилиндра у неё был 1.18 дюйма, а ход поршня 2.56 дюйма, что давало рабочий объём цилиндра в 2.8 кубических дюйма⁴, то есть заметно больше чем в предыдущей серии экспериментов. Как ни странно, но в результате мы опять получили оптимальный диаметр перепускного отверстия в 1/8 дюйма, возможно, это из-за того, что перепускное отверстие было длиной почти в 1 дюйм и прирост «мёртвого объёма» свёл на нет прирост рабочего объёма цилиндра. Мы также использовали две пружины: одну с мощностью 36 Ft·lbs, а вторую с мощностью 45 Ft·lbs⁵. Как ни странно, но более слабая пружина

¹ То есть рассверлили до 9,53 мм, а набор втулок варьировался от 1,59 мм до 4,37мм

² Диаметр цилиндра 25,4 мм, а ход поршня 63,5 мм и объём 32,12 кубических сантиметра

³ Калибр 5.5 мм

⁴ Диаметр цилиндра 29,97 мм, ход поршня 65 мм, объём 45,88 кубических сантиметра

⁵ Вероятно, имеется в виду энергии сжатых пружин, соответственно 48,8 Дж и 61 Дж

продемонстрировала более высокую скорость вылета пули, что в очередной раз подтвердило наше мнение, что не всегда более мощная пружина способствует получению более высокой скорости.

Мы использовали термин «мёртвый объём» для описания объёма, который включает в себя объём перепускного отверстия, объём ниш в передней части поршня и даже объём в юбке пули. По сути, этот объём, от которого никуда не деться, понижает эффективность всей системы в целом. В качестве предельного случая можно привести пример, когда «мёртвый объём» будет достаточно велик по сравнению с рабочим объёмом цилиндра. В таком случае при выстреле возможны два варианта. Во-первых, пуля может или вообще не вылететь из ствола, поскольку не создается необходимое давление, чтобы стронуть её с места. Во-вторых, пуля может вылететь, но с крайне невысокой скоростью, поскольку мощности пружины уже хватит, чтобы сразу же сжать воздух до конца, поршень дойдёт до конца цилиндра, а пиковое давление будет весьма невелико.

Длину перепускного отверстия изменять в ходе экспериментов уже сложнее, хотя очевидно, что чем короче перепускное отверстие, тем лучше, поскольку при этом меньше «мёртвый объём». Кроме того, более короткое перепускное отверстие будет создавать меньшее сопротивление воздушному потоку, когда тот будет стремительно протекать через отверстие. В течение многих лет конструкции винтовок изменялись, пока не пришли к решению, при котором длина перепускного отверстия минимизирована и весьма незначительна. Вообще-то говоря, перепускное отверстие не представляет собой что-либо необычное, по сути, это просто продолжение ствола назад, за пулю. Если удастся сконструировать винтовку, в которой казённый ствол будет сразу же выходить в цилиндр – это было бы наиболее оптимальным решением, при котором воздушный поток сразу же устремлялся бы в ствол и разгонял пулю, а не тратил бы энергию на протекание через перепускное отверстие.

В некоторых старых винтовках перепускное отверстие просверлено под углом и соединяет ствол с центром цилиндра. Возможно, это делалось из-за предположения, что воздух из центра цилиндра будет вытекать лучше и быстрее, чем из одной из его сторон. В настоящее время практика показала, что это не так и такие наклонные перепускные отверстия постепенно перестали использоваться. Кроме того, если и есть небольшое преимущество при вытекании воздуха из центра цилиндра, то оно всё равно будет задавлено из-за более длинного перепускного отверстия и острых углов, под которыми придётся поворачивать воздушному потоку при переходе из цилиндра в перепускное отверстие и из перепускного отверстия в ствол.

Воздух, как и любая другая текучая среда, обладает вязкостью, то есть свойством сопротивления движению потока. Как пример можно сравнить вытекание патоки и воды из какого-либо сосуда. Очевидно, что патока течёт гораздо медленнее воды, но её вязкость понижается при повышении температуры и она начинает течь быстрее. Конечно, воздух не столь вязок как вода при нормальном давлении и температуре, но он, как и другие газы, обладает интересным свойством – его вязкость повышается при повышении давления или температуры. Таким образом, поскольку мы в основном имеем дело с высоким давлением и высокой температурой, то потери энергии из-за вязкости воздуха могут быть довольно значительными.

Для того, чтобы осознать, что же всё-таки происходит в перепускном отверстии, можно представить себе, что воздух это жидкость. Используя такой подход, можно вспомнить, как течёт поток воды по камням, когда образуются волны и маленькие воронки, которые мешают гладкому и плавному протеканию воды. Точно также большинство винтовок, которые мы изучали, имели острые края перепускного отверстия, поскольку обычно оно просто просверлено в дне цилиндра. Очевидно, что такая острая

грань сильно отбрасывает и замедляет поток газа и приводит к потерям энергии. Эти острые грани являются одной из составляющих частей системы, где теряется энергия.

И снова вернёмся к практике, которая является единственным способом проверки теории. Мы взяли одну из винтовок с острыми краями перепускного отверстия и тщательно сгладили острые грани. В итоге мы получили прирост скорости вылета пули примерно на 7 FPS¹. После этого мы попробовали провести аналогичную модификацию других винтовок и везде получали прирост скорости по сравнению с результатами до модификации, что ещё раз подтвердило, что форма и размер перепускного отверстия очень важна для эффективности винтовки в целом.

Итак, что же всё же лучше?! Как ни странно, но конструктор пружинно-поршневой винтовки нередко оказывается между двух огней. С одной стороны, перепускное отверстие должно быть максимально коротким, оптимального диаметра, с гладким входом и полированной поверхностью внутри, кроме того, ещё на результат влияет и форма перепускного отверстия. И все эти требования достаточно трудно реализовать при учёте технологических и физических требований при производстве. Например, минимальная длина перепускного отверстия означает потерю физической прочности материала в этом месте, что может быть весьма критично, особенно для винтовок, взводимых стволом.

Обработка входной части перепускного отверстия под раструб, которую мы описывали выше, это уже доводка винтовки, которую не встретишь в серийных моделях. Вообще-то с точки зрения теории, идеальное перепускное отверстие должно выглядеть как раструб со стороны цилиндра, который затем переходит в трубку Вентури, то есть трубка, сужающаяся в середине и затем снова расширяющаяся до диаметра казённого на выходе. Однако, после долгих стараний, когда мы всё же изготовили такой идеальный перепуск, мы выяснили, что практическая польза от него весьма незначительна.

На некоторых старых винтовках с переламывающимся стволом, уплотнитель казённого заходит в выемку перепускного отверстия. Естественно, возникает возможность потерь энергии при обтекании воздушным потоком этого уплотнителя. Кроме того, при закрывании уплотнитель сдавливается и, возможно, уменьшается диаметр отверстия, через которое проходит воздушный поток, что также сказывается не лучшим образом на эффективности работы винтовки в целом.

Была также в своё время весьма интересная конструкция с конусным перепуском. Её отличительной особенностью было конусообразное перепускное отверстие и соответствующий конусообразный выступ на поршне. В итоге потери энергии на перепускном отверстии сводились к минимуму, поскольку конусный выступ поршня доставал практически до конца конусного отверстия. Однако, эта весьма интересная конструкция широкого распространения не получила, вероятно, стоимость производства такой конструкции перевесила выигрыш в эффективности.

Maddox и Rowson из Бристольского Университета достаточно серьёзно изучали вопрос эффективности перепускного отверстия. Они продемонстрировали, что при определённых условиях возможно возникновение на короткий момент обратного перепада давления, когда давление в стволе будет выше давления в цилиндре. В частности это возможно при отскакивании поршня, когда пуля уже пошла вперёд по стволу, часть воздуха, которая уже прошла по перепускному отверстию из цилиндра в ствол, может снова перейти в цилиндр. Этот вывод не сильно удивил нас, поскольку мы уже не раз находили кусочки свинца на манжете и в цилиндре. Мы долго думали, откуда они могут там появиться, и пришли к выводу, что, вероятно, их засасывает из ствола при взведении. Однако, указанный феномен с обратным перетеканием воздуха наблюдался только на

¹ Около 2,14 м/с

винтовках, функционирующих в фазе *popgun*, а в случае же функционирования в фазе *combustion* никакой возможности обратного протекания воздуха не существует.

Maddox и Rowson также показали, что как только достигается определённая скорость воздуха через перепускное отверстие, поток становится сверхзвуковым и перепускное отверстие начинает закупориваться ударными волнами. После этого воздух уже не может проходить через перепускное отверстие ещё быстрее и в результате растёт давление перед поршнем. Случайно мы выстрелили из спортивной винтовки без пули и были поражены громкостью выстрела, а также количеством дыма из ствола. В свете работ, которые провели Maddox и Rowson, ясно, что как только перепускное отверстие начинает заглушаться, начинает расти давление перед поршнем, что может создать условия для воспламенения смазки и винтовка начинает вести себя так, как будто у неё в казённом была пуля. Однако, поскольку воздушный поток в перепускном отверстии при этом будет сверхзвуковой, то звук из дула винтовки будет очень похож на звук сверхзвуковой пули или же на щелчок кнута. В этом примере звук ещё больше усиливается из-за воспламенения смазки, которая в итоге оставляет ствол полным дымом.

С другой стороны, если же винтовка достаточно невелика или её мощность невелика, и она не вписывается в условия, которые мы описали выше, то по всей вероятности достаточного давления для остановки поршня перед ним так и не возникнет и поршень со всей силой ударится о дно цилиндра.

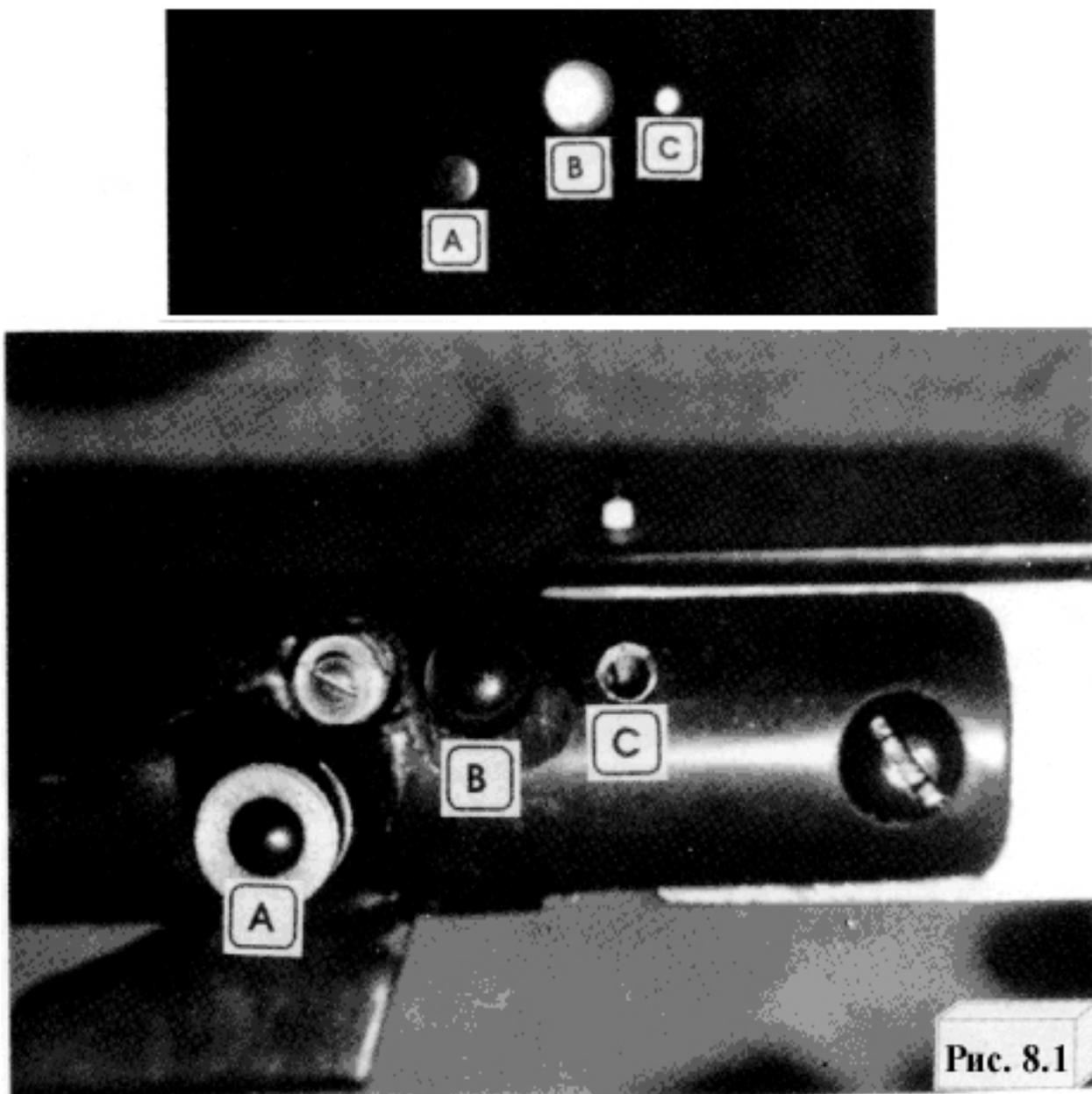
Теперь перейдём к роли перепускного отверстия в случае функционирования винтовки в фазе *combustion*. В этом случае перепускное отверстие перестаёт быть просто проходом для воздуха высокого давления и температуры, а становится камерой сгорания для смазки, воспламеняемой высоким давлением и температурой, возникающими при сжатии воздуха. Для исследования процесса сгорания мы построили три плексигласовых стержня **A**, **B** & **C** в область сгорания (**рис. 8.1**). Первый стержень, **A**, был встроен возле передней стенки цилиндра, и его внутренний конец был обработан таким образом, чтобы получился небольшой перископ, глядящий на приближающийся поршень. Следующий был встроен непосредственно в перепуск, а третий был встроен в ствол прямо перед пулей, когда она ещё не начала своё движение. Каждый из трёх стержней имел диаметр 3/16 дюйма¹ и был очень тщательно обработан, чтобы после установки на место не образовывалось ни выступов, ни впадин, а было полное совпадение с окружающей поверхностью. Стержень **B** кажется несколько больше, чем его другой конец, но это потому, что мы решили сделать торцы стержней в виде линз, чтобы попытаться лучше увидеть, что происходит при выстреле. В реальности мы увидели только вспышку света на линзе, но, тем не менее, немного интересной информации мы всё же получили.

Фотография показала (**рис 8.1**) как светятся плексигласовые стержни при выстреле винтовки. Феномен, демонстрируемый этой картинкой, заключается не в том, что при сгорании смазки возникает яркая вспышка, а в том, что это сгорание происходит по большей части в перепускном отверстии. Кроме того, поскольку стержень **C** расположен перед пулей и открывается только при начале движения пули по стволу, то интересно отметить, что яркая вспышка видна и в этой точке. Это наглядно свидетельствует, что смазка продолжает сгорать при движении пули по стволу, и, видимо, это горение происходит на протяжении первых нескольких дюймов.

Точная природа и время воспламенения при сжатии были в течение многих лет интересной задачей, как для математиков, так и для инженеров, работающих с дизельными двигателями. Однако, их работа относилась к более точно контролируемым машинам, чем наши непредсказуемые винтовки, но тем не менее изучать книги по этому

¹ Примерно 4,76 мм

вопросу крайне интересно, поскольку там разбираются аргументы и принципы, вовлечённые в фазу *combustion*.



Глава 9.

Ствол.

Когда мы говорим о стволе пневматической винтовки, мы имеем в виду всю трубку, от дула и до казённого, где лежит пуля перед выстрелом. Казалось бы, незачем давать столь самоочевидное определение, но дело в том, что нам хотелось бы явно указать, что как часть ствола мы рассматриваем и место, где находится пуля перед выстрелом. Вообще-то эта часть ствола может сильно влиять на стабильность винтовки, однако, для начала мы перейдём к достаточно спорной теме о длине ствола.

Длина ствола.

Когда мы начали изучать проблему длины ствола в пружинно-поршневых винтовках, мы столкнулись с проблемой, что большая часть рассуждений на эту тему основывается на принципах огнестрельного оружия. Однако такое сравнение абсолютно неприменимо, как и многие другие сравнения между пневматическим оружием и огнестрельным. В случае огнестрельного оружия пуля разгоняется на всей длине ствола, и этот разгон зависит от количества взрывчатого вещества в патроне и длины ствола. Взрывчатое вещество в патроне специально изготавливается таким образом, чтобы полностью сгорать за то время, пока пуля находится в стволе. При сгорании взрывчатого вещества образуются газы, которые поддерживают практически постоянное давление позади пули и обеспечивают ей огромную энергетику.

К сожалению, пружинно-поршневая винтовка в этом отношении несколько хуже, поскольку доступная для передачи пуле энергия весьма ограничена, и большая её часть передаётся пуле на первых пяти дюймах ствола¹ или около того. На протяжении дальнейших 25 дюймов ствола² пуля продолжает поддерживать примерно постоянную скорость, а дальше её скорость начинает падать из-за трения о стенки ствола и из-за сопротивления воздуха, который пуля толкает перед собой. Таким образом, избыточно длинный ствол не даст прибавку мощности для пружинно-поршневой винтовки. Однако следует отметить, что для спортивных винтовок, работающих в фазе *combustion*, может наблюдаться некоторый выигрыш при наличии длинного ствола, в отличие от винтовок, работающих в фазе *popgun*.

На **рис. 9.1** показан график типичного ускорения пули калибра 0.22³ в стволе. Из этого графика видно, что пуля реально ускоряется только на первых пяти дюймах ствола, а дальнейший путь проходит с практически постоянной скоростью. Причина этой стабильной скорости в том, что достигается «критический расход» воздуха через перепускное отверстие. Этот момент уже обсуждался в предыдущей главе, напомним только, что в этих условиях воздушный поток начинает течь с постоянной скоростью и, соответственно, пуля уже не ускоряется, а движется с постоянной скоростью.

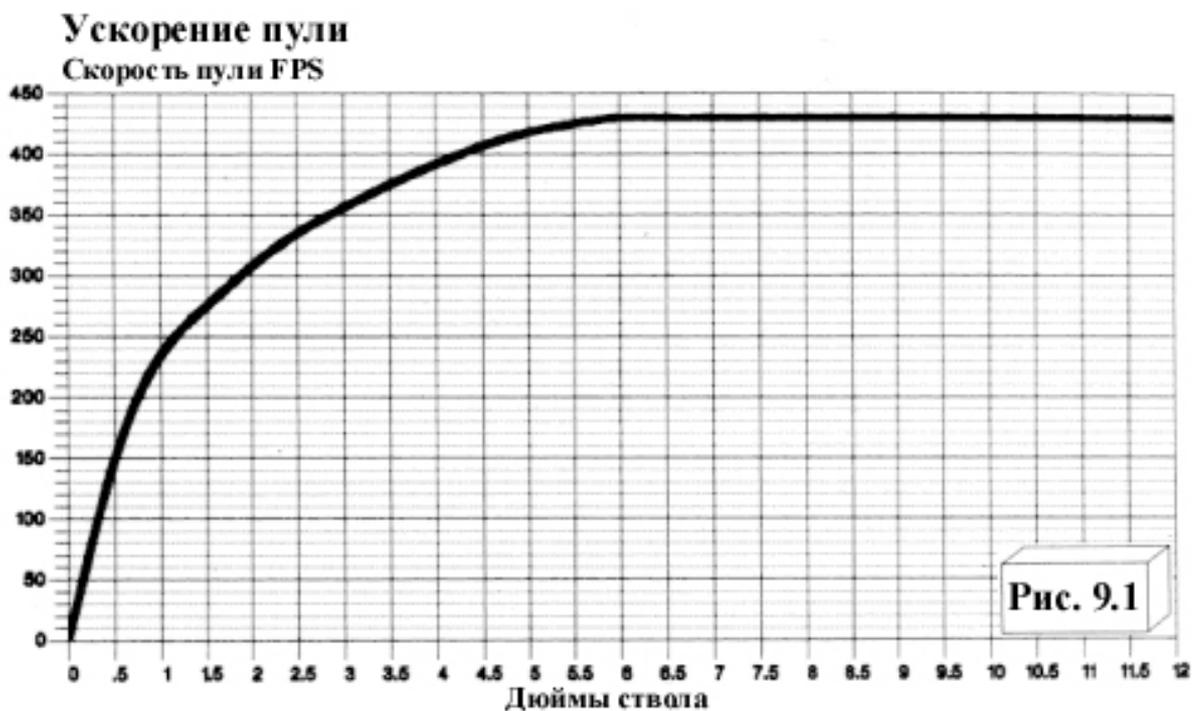
График на **рис. 9.1** был получен с помощью весьма специфичного ствола, который можно видеть внизу **рис. 9.2**, в стенке его по всей длине просверлены отверстия с интервалом в один дюйм, и в каждое отверстие вставлена изолирующая втулка и в неё ввинчен маленький винт, немного торчащий внутрь ствола. Такая странная конструкция позволила нам отмечать прохождение пули по стволу, поскольку при прохождении очередного винта пуля его касалась и замыкала электрическую цепь. Объединив эту конструкцию с хронографом, мы смогли получить график движения пули в стволе и график её ускорения. Кроме того, наше оборудование позволяло соединять ствол из нескольких кусков, что хорошо видно на **рис. 9.2** в верхней части. В итоге с помощью

¹ То есть на первых 127 мм

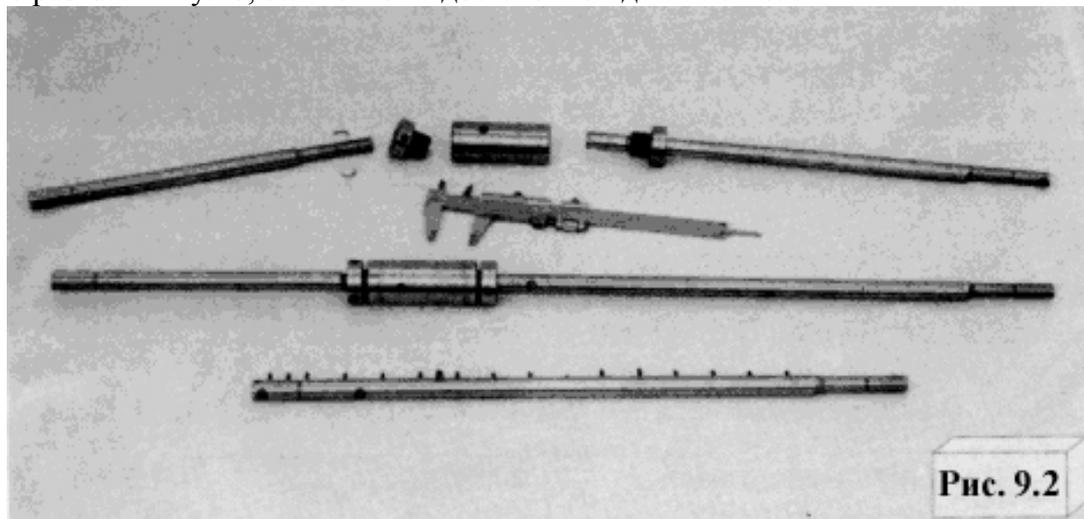
² Соответственно 635 мм

³ Калибр 5.5 мм

такого оборудования мы могли экспериментировать со стволами длиной до пяти футов¹. При такой большой длине ствола дульная скорость падала уже до совсем маленьких величин, но, тем не менее, эксперимент оказался полезным, поскольку подтвердил, что для пружинно-поршневой винтовки длинный ствол ещё не является ключом к высоким скоростям.



Совершенно другая ситуация в случае компрессионной винтовки. Здесь обычно запасается более адекватный объём воздуха, чтобы разогнать пулю на всём протяжении ствола и поэтому во многих случаях использование более длинного ствола даёт определённые преимущества. Хотя с другой стороны, даже в этом случае возникают проблемы – винтовка не только начинает странно выглядеть, но также нарушается её баланс и винтовку становится неудобно держать. В случае, когда необходима бесшумность, лишний воздух выпускается через глушитель, воздух, который мог бы дальше разогнать пулю, если бы был достаточной длины ствол.



¹ То есть длиной до 1.525 м. А у большинства серийных винтовок стволы 60см максимум.

Казённый и пуля.

В ходе наших экспериментов с длиной ствола, мы попутно выяснили, что плотность посадки пули в стволе, а также форма казённого являются весьма существенными факторами, влияющими на мощность винтовки. После выяснения этого факта, мы взялись за серьёзное исследование влияния этих факторов на эффективность винтовки в целом. Для начала мы проверили то, что мы называли «статическим» давлением, то есть постоянное давление, которое необходимо для начала движения пули в случае разных форм казённого. Мы подсоединили короткий ствол калибра 0.22 дюйма к ручному масляному насосу так, что мы могли очень медленно поднимать давление за пулей и при этом могли наблюдать величину этого давления на манометре. Как только пуля страгивалась с места и начинала двигаться по стволу, давление немедленно спадало, после чего максимум достигнутого давления записывался.

Каждый из коротких стволов имел свою форму казённого, поэтому не составляло труда сравнить давления, необходимые для страгивания одних и тех же пуль в зависимости от формы казённого. Кроме того, были проведены исследования по «статическому» давлению, необходимому для страгивания пуль с расширенной или наоборот сжатой юбкой. Следует отметить, что этот эксперимент лишь позволил сравнить между собой давления, необходимые для страгивания пуль в зависимости от формы казённого. К реальности указанные давления отношения почти не имеют, поскольку тест проводился гидравликой, а не воздухом, время воздействия давления было намного больше, чем при выстреле из винтовки. Реальное давление (динамическое), которое страгивает пулю с места, примерно в три раза выше, чем показатели, приведённые в таблице, и дело тут в основном в инерционности пули.

После проверки «статического» давления, каждый ствол был установлен на винтовку, и была замерена скорость вылета пули. Усреднённый результат за 20 выстрелов приведён в таблице.

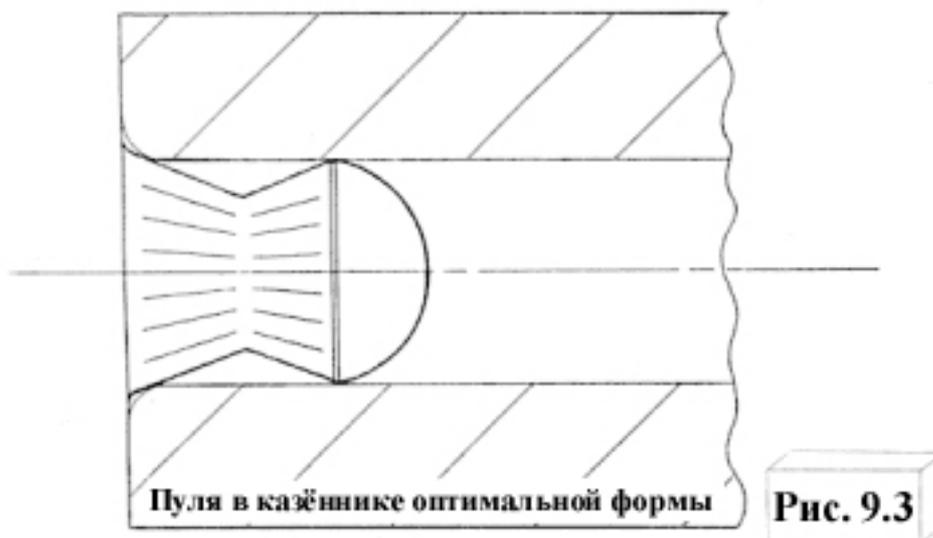
Форма казённого	«Статическое» давление		Скорость пули	
	PSI	Атм.	FPS	м/с
<i>Прямой угол с острыми краями</i>	374	25,43	371	113,16
<i>Прямой угол со скруглёнными краями</i>	444	30,19	434	132,37
<i>Фаска под углом 45°</i>	442	30,06	373	113,77
<i>Фаска под углом 60°</i>	399	27,13	390	118,95
<i>Плавный конусный переход</i>	308	20,94	292	89,06

Как видно из этой таблицы, для данной винтовки «статическое» давление в 444 PSI необходимо для достижения максимальной скорости, и этот результат достигается на казённом со слегка скруглёнными краями. Эта оптимальная для данной винтовки форма казённого показана на **рис. 9.3**. Возможен вариант, когда пуля будет сидеть в казённом слишком плотно и будет трогаться уже после достижения максимального давления, что приведёт к падению дульной скорости. Этот вариант был подтверждён экспериментально путём избыточного расширения юбки пули, для повышения её силы трения покоя, и затем была измерена её скорость вылета.

Причина того, что казённый с прямым углом и острыми краями показывает более низкое давление и более низкую скорость, вероятно, заключается в срезании острым углом края юбки пули, что требует меньших усилий, чем её обжимание до калибра ствола.

В результате этих экспериментов мы пришли к выводу, что при выстреле юбка пули сначала упирается в край канала ствола, затем, когда давление нарастает, юбка пули обжимается до калибра ствола, после чего срывается с места и начинает ускоряться вдоль ствола при максимальном давлении позади неё. К сожалению, функция удерживания пули

в казённом в начале выстрела пропадает, если пулю перед зарядкой прогнали через калибровочное отверстие. Такие устройства время от времени встречаются на рынке, но пользы от них для более-менее приличных пружинно-поршневых винтовок никакой, один вред из-за уменьшения диаметра юбки пули. Хотя в некоторых случаях всё же такое устройство может пригодиться – или если пули совсем не лезут в ствол, или же для очень маломощных винтовок, которые не могут обжать пулю при выстреле. Для компрессионных винтовок форма казённого куда как менее важна, поскольку обычно затвор досылает пулю прямо в нарезы ствола, сразу же обжимая юбку пули ещё до выстрела, фактически, это уже *blowpipe* фаза.



Ещё один плюс от правильной формы казённого – более стабильная скорость. Мы провели эксперимент и убедились, что в случае оптимальной формы казённого разброс скоростей составляет 2%, а для других форм разброс был около 6%. Это довольно неплохое улучшение и, возможно, оставшийся разброс в 2% обусловлен уже качеством пули.

К сожалению, указанную форму казённого не всегда можно реализовать, например, очень проблематично это сделать в случае винтовки с конусным отверстием для зарядки пули. Конусное отверстие, в которое бросают пулю, конечно достаточно удобно для зарядки пули, но при этом является наихудшим решением с точки зрения эффективности и стабильности. Кроме того, такое решение понижает эффективность винтовки из-за того, что пуля может занимать разные положения перед стволом и, кроме того, возрастает «мёртвый объём» перепускного отверстия. Однако такое решение имеет и свои плюсы, в частности, оно позволяет реализовать сложные системы зарядки, например, магазинные, систему с вращающимся казённым от **BSA** или систему, реализованную **Weihrauch** на их классической модели 77, где пуля вкладывается непосредственно в ствол, после отката цилиндра.

Конструкции же с переломным стволом сейчас не столь популярны, как раньше, поскольку существует опасение, что ствол со временем разболтается, и не будет возвращаться точно в такое же положение, в котором был изначально. Этот тип пружинно-поршневой пневматики был популярен раньше среди массовых винтовок, но более дорогие винтовки всё равно делались или с подствольным рычагом или же с откатом цилиндра, поскольку тогда сочленение у казённого или быстро начинало пропускать воздух, или же разбалтывалось. Кроме того, идея использовать ствол как

рычаг также не прибавляла популярности этой компоновке, поскольку всегда существовало опасение погнуть ствол.

Дульная часть ствола.

Обратимся теперь к дульной части ствола. Для точной винтовки жизненно важно, чтобы дульная часть была без механических дефектов, таких как заусенцы, пятна ржавчины, или расширения. Огнестрельное оружие нередко чистят с помощью протаскивания через ствол кусков тряпки, привязанных к длинной проволоке. Если эта проволока будет скрести по краям дульного среза, то это также скажется не лучшим образом на точности винтовки¹.

Вполне понятно, что дульная часть является наиболее важной частью ствола с точки зрения точности стрельбы, поскольку она отвечает за задание окончательного направления вылетающей пуле. Если торец ствола не перпендикулярен его оси, то пуля может уйти вбок. Чтобы проверить это утверждение мы специально обработали торец ствола так, что он стал проходить под углом около 15° к оси ствола, чтобы посмотреть, что из этого выйдет. Мы были удивлены результатом – пули покидали ствол практически точно под таким же углом, под которым был наклонен торец ствола к его оси. В итоге пули легли достаточно кучно, но заметно в стороне от обычной точки попадания.

Весьма важно, чтобы пуля плотно прилегала к стволу, когда она покидает его. Именно поэтому многие производители обжимают последние пару сантиметров ствола или же его самый конец, образуя так называемый «чок». Хотя термин чок чаще используется в гладкоствольном огнестрельном оружии, где уменьшение диаметра дула служит для более кучного направления заряда дроби, мы всё же позаимствовали этот термин. Хотя существенная разница наблюдается в размерах сужения – в пневматическом оружии это около 0.001 дюйма, а в гладкоствольном огнестрельном оружии чок может быть около 0.030 дюйма² или даже больше.

Причина использования чока в пневматическом оружии – желание точно гарантировать плотное прилегание пули к нарезам ствола перед её вылетом. Это никоим образом не дискредитирует тех производителей стволов, которые утверждают, что их стволы не идеальны и чок необходим для улучшения их характеристик. Каким бы способом производства и нарезки стволов ни пользовались производители, всегда существуют небольшие колебания в калибре ствола по его длине. Каждый ствол индивидуален и большие или меньшие диаметры не появляются на одном и том же месте в каждом экземпляре. Если же ствол будет иметь чок, напесованный уже после всех других механических операций, и если этот чок будет чуть меньше, чем возможный разброс диаметров на протяжении ствола, то это будет гарантировать, что перед вылетом из ствола пуля пройдёт самое узкое место и будет гарантированно плотно прижиматься к стенкам ствола. В теории все стволы должны быть идеальными, с постоянным диаметром на всём их протяжении, без каких-либо дефектов внутри. Однако практика показывает, что такого теоретического идеала достичь практически невозможно, по крайней мере, за разумную цену. Также неверно считать, что поскольку на стволе есть чок, то это просто маскировка не очень высокого качества изготовления ствола. Многие производители используют чок в своих стволах, чтобы уменьшить их чувствительность к качеству пуль, а также повысить кучность на большой дистанции. Кроме того, они, возможно, считают использования чока выгодным, поскольку пока пуля движется по стволу, она из-за трения

¹ Теоретически это так, а на практике был эксперимент, когда одну из огнестрельных винтовок чистили очень аккуратно по всем правилам, а другую чистили аналогично приведённому тут методу. Изменений в кучности не было отмечено. То есть нормальный стальной ствол, без латунного лайнера повредить при чистке достаточно непросто.

² Для пневматического оружия 0.0254 мм, а для гладкоствольного 0.762 мм или даже больше.

несколько уменьшается в диаметре, т.е. когда пуля вылетает из ствола она немного меньше, чем когда она только начинает своё движение по стволу, даже если ствол практически идеален. Таким образом, чок компенсирует это уменьшение диаметра.

В начале изготовления стволов с чоком размер его нередко был избыточен, до 0.004 дюйма¹, что отнимало у пули немалую часть её энергии. В некоторых случаях мы успешно рассверливали эту часть ствола и при сохранении той же кучности получали заметный прирост в мощности, возможно, нам просто повезло, но, тем не менее, такой факт имел место.

В качестве ещё одного эксперимента мы специально развернули ствол и зарядили пулю в дульный срез с чоком. В результате пули летели практически куда угодно, поскольку чок их уже обжал до минимального диаметра, и дальше пуля начинала болтаться в стволе как угодно, что приводило к совершенно неприемлемой кучности. Этот эксперимент наглядно показал, насколько кучность зависит от плотного прилегания пули к стволу вообще и в дульной части в частности.

Нарезы.

История использования нарезов весьма интересна. Начиная примерно с 1800 года, когда была установлена их ценность, с ними было произведено множество экспериментов, возможно даже, больше чем с другими частями оружия, экспериментировали с формой, количеством нарезов, длиной их оборота. В ходе этих экспериментов были созданы самые разнообразные конструкции. Например, весьма интересная конструкция с нарезами переменной крутизны, когда скорость вращения пули постепенно повышалась по мере её продвижения вдоль ствола. Также был вариант и с нарезами переменной глубины, когда глубина нарезав повышалась по мере приближения к дульному срезу. Идея этой конструкции была в предотвращении срыва пули с нарезав при вылете из ствола. Срыв с нарезав был одной из основных проблем первых нарезав стволав, когда пули ещё делались целиком из свинца, без металлической оболочки как сейчас. Проблема была в том, что если насыпать слишком много пороха, то пуля не удерживалась на нарезах. Она начинала двигаться по стволу, как будто он был гладкий, и вылетала без вращения вокруг своей оси.

Возможно, это тяжело понять, почему же нарезав не стали стандартом для всех стволав. Однако кроме преимуществ у нарезав стволав также существуют и недостатки, такие, например, как засорение нарезав при использовании чёрного пороха. Также требовалась зарядка с казённой части, в отличие от популярной тогда зарядки с дульной части. Всё это и многое другое сдерживали развитие нарезав стволав.

Тем не менее, в 1909 году доктор F.W.Mann написал книгу, озаглавленную «Полёт пули от дула до мишени». Сейчас эта книга уже не рассматривается как один из основных трудов по баллистике, поскольку она в основном посвящена анализу полёта свинцовых пуль крупного калибра, которые ныне не очень популярны. Тем не менее, для нас это весьма полезная книга, поскольку описанные там методы исследования вполне применимы для свинцовых пуль пневматического оружия. Многие из наших исследований базируются на технике, взятой из этой книги.

Доктор Mann посвятил большую часть своей жизни изучению полёта пуль. Он провёл огромное количество экспериментов со свинцовыми пулями, больше чем кто-либо из его современников. Он чётко показал, что срыв пули с нарезав при нормальных условиях это миф. Более того, он с усилием прогнал пулю через нарезав ствол так, что в стволе осталось менее 5 мм длины пули, после чего выступающий конец попытался повернуть, надеясь, что повернётся вся пуля. В итоге передняя часть пули успешно

¹ До 0.1 мм

открутилась, а в стволе остался остаток пули, практически заподлицо с дульным срезом. Этот простой эксперимент, а также другие эксперименты доказали, что даже нарезы небольшой глубины могут вполне успешно закручивать пулю.

Следует отметить, что вращающаяся вокруг своей оси пуля содержит в себе две формы энергии – кинетическую энергию линейно движущегося тела, которая всем хорошо известна, а также энергию вращения, которое придают ей нарезы. Вычисление величины энергии вращения несколько более сложный процесс, чем вычисление кинетической энергии линейно движущегося тела. Для этого требуется определить момент инерции пули, который зависит от скорости вращения пули, структуры пули и её диаметра. Однако если речь идёт об обычных пулях, то величина энергии вращения по сравнению с кинетической энергией линейного движения крайне незначительна.

Доктор Mann также отмечает, что на протяжении всей своей работы с нарезными стволами, когда пули отстреливались в снег или в опилки, он никогда не наблюдал пулю со следами срыва с нарезов. Мы со своей стороны можем подтвердить это мнение, поскольку мы в своих экспериментах также нередко отстреливали пули в различные мягкие материалы и также никогда не видели следов срыва с нарезов. Этого просто не происходило.

Несмотря на то, что прошло уже много лет, общепринятого стандарта для крутизны нарезов так и не сложилось, каждый производитель использует свои собственные идеи по данному вопросу. А вот направление нарезов всё же более-менее стандартизовано – практически все нарезные стволы имеют правые нарезы, то есть пуля вращается по часовой стрелке, когда движется от казённого к дульному срезу ствола.

Изучая стволы, которые мы использовали в наших работах, мы выяснили, что длина оборота нарезов в них варьируется от одного оборота за 13 дюймов до одного оборота за 34 дюйма¹ в разных экземплярах. Мы также слышали об экспериментах с длиной оборота нарезки как выше, так и ниже указанных выше значений, но доказательств повышения кучности так и не было. Следует отметить, что и в огнестрельном оружии также нет единого стандарта на длину оборота нарезов, и там существует точно такой же разброс.

Следует напомнить, что поскольку пневматическое оружие стреляет в основном пулями, по форме напоминающими волан, то не следует сильно надеяться на гироскопический эффект, который будет удерживать пулю во время полёта, поскольку он сильно зависит от формы пули. По всей вероятности, такая форма пули была исходно выбрана с целью увеличить кучность пневматического оружия с гладким стволом, ориентированного на шариковый боеприпас. Возможно, кто-то отметил, что волан всегда летит носом вперёд и, соответственно, сделал миниатюрную свинцовую копию. Даже сегодня гладкоствольное пневматическое оружие может показывать очень неплохую кучность при стрельбе современными пулями на небольшую дистанцию. Таким образом, наши пули, можно сказать, дважды стабилизированы – во-первых, из-за закрутки в нарезном стволе, а во-вторых, воздухом, который их обтекает после вылета из дула как волан.

Несложный расчёт по скорости вращения пули даёт весьма интересный результат. Если пуля вылетает из ствола с длиной оборота нарезки в 16 дюймов со скоростью 550 FPS², то она должна вращаться со скоростью 25'000 оборотов в минуту. На первый взгляд громадная скорость. Но если посчитать также время полёта на дистанцию в 30 ярдов³, то получится, что пуля провернётся всего лишь около 70 раз.

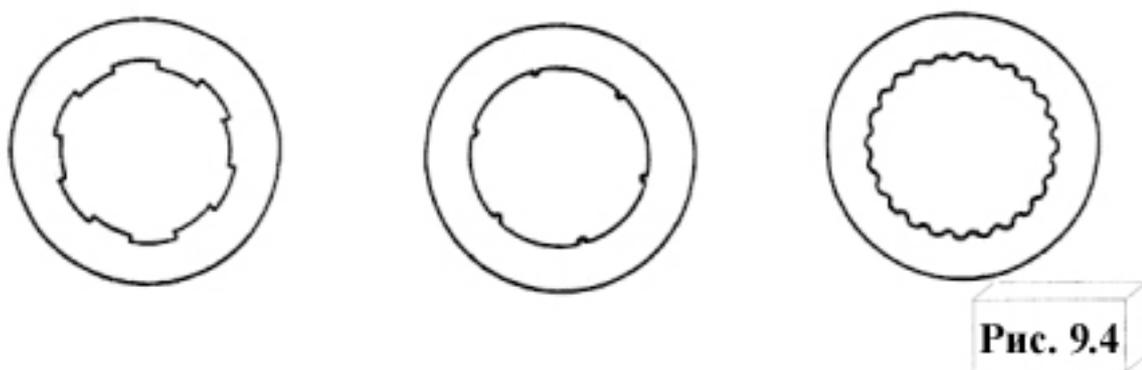
¹ То есть один оборот от 33,02 см до 86,36 см

² Длина оборота нарезки 40,64 см, а скорость вылета пули 167,75 м/с

³ Примерно 27,43 м

Форма нарезов и полей в стволе современной пневматической винтовки весьма стандартизована (рис. 9.4). Поля это секции между нарезами, которые поддерживают пулю. В большинстве случаев поля и нарезы имеют равную ширину, но их количество колеблется от 6 до 12. Хотя опять-таки производители иногда выбирают количество нарезов по своему усмотрению. Глубина нарезов также достаточно постоянна и колеблется в интервале 0.002 - 0.003 дюйма для калибров 0.177 и 0.22, но в случае калибра 0.25 глубина возрастает до 0.004 дюйма¹.

Обычно диаметр ствола по дну нарезав равно такой же, как и калибр, соответственно, диаметр ствола по верхним частям полей будет меньше калибра на удвоенную глубину нарезав. Некоторые производители, тем не менее, могут отклоняться от этого стандарта, иногда это делается по коммерческим причинам, например, сделать ствол, из которого хорошо летают только пули определённого производителя. Нам кажется, что такое решение в долгосрочном плане это провал для производителя и отсутствие пользы для развития пневматического оружия в целом, поскольку разумные пользователи не хотят быть привязанными к конкретному производителю и будут избегать подобных стволов и пуль.



Ранее мы упомянули, что поля обычно делаются одинаковой ширины с нарезами, но вот, например, *Weihrauch* всегда делает свои стволы калибра 0.22 с весьма необычными нарезами. Нарезы у этих стволов очень широкие, а поля, по сути, чуть ли не острые рёбра, расположенные в виде спиралей внутри ствола. Такая конструкция имеет ряд преимуществ, таких как малая деформация пули, когда в неё врезаются нарезы, хорошая герметизация, особенно когда давление не очень высокое и не может плотно вжать юбку пули в более обычные нарезы.

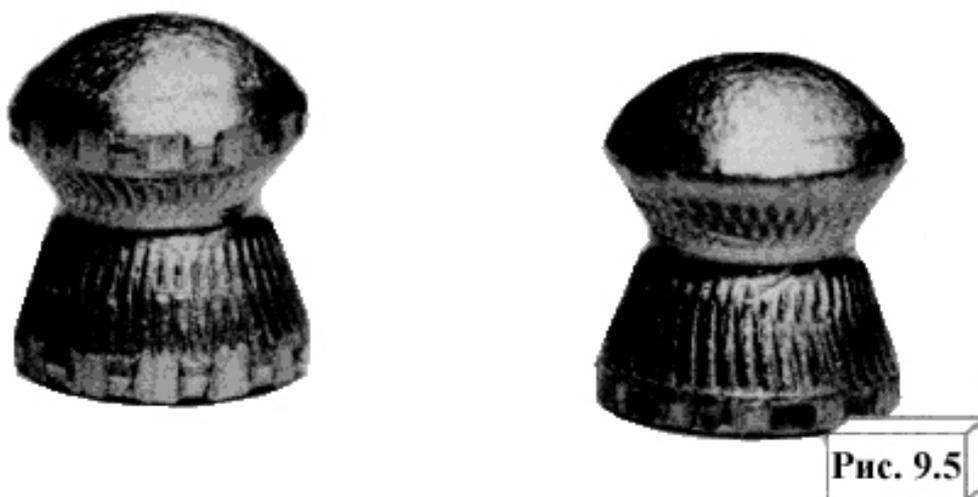
Существует также ещё один вариант нарезки, так называемый «многонарезной», когда обычные нарезы заменяются большим количеством маленьких бороздок. Соответственно, количество таких бороздок много больше количества обычных нарезав, часто бороздки имеют полусферическую форму, оставляя острые поля между ними для удержания пули. Такая нарезка не слишком популярна сейчас, однако ранее она была весьма распространена как в пневматическом оружии, так и в крупнокалиберных винтовках.

Кроме того, существует подобная система, называемая «микронареzy», которая состоит из очень большого количества неглубоких нарезав, настолько неглубоких, что в некоторых случаях их трудно увидеть без увеличительного стекла. Такие нарезы вполне успешно закручивают пулю и, в отличие от более глубоких обычных нарезав, гораздо меньше повреждают пулю, которая иногда после глубоких нарезав и чока выглядит так, будто попала под циркулярную пилу. На рис. 9.5 показаны две пули, которые прошли

¹ Около 0,05-0,0762 мм для калибра 4.5мм и 5.5мм, и 0.1мм для калибра 6,35мм

через разные стволы. Пуля слева прошла через весьма плотный ствол с чоком. Она весьма заметно повреждена, возможно, даже до состояния, когда будет страдать точность. Пуля же справа лучше соответствует стволу, и её головная часть осталась практически неповреждённой, в то время как нарезы хорошо отпечатались только на юбке пули¹.

Ссылаясь снова на работу доктора Mann'a, следует отметить, что в его экспериментах обычная свинцовая пуля, обёрнутая наждачной бумагой, вращалась при передвижении её по гладкому стволу вперёд и назад, то есть пуля отлично ловила даже неглубокие царапины, оставшиеся от обработки внутренней поверхности ствола. Соответственно, при выстреле такая пуля вылетит из ствола, вращаясь, как будто ствол был с обычными нарезами.



Мы также последовали инструкциям доктора Mann'a и процарапали нарезы в гладком стволе калибра 0.22. Пуля, вылетевшая из такого ствола, не имела визуальных дефектов и не изменила своей формы. Однако следует отметить, что кучность этого ствола была всё же ниже, чем аналогичного нарезного, хотя с другой стороны, наш ствол был без чока. В итоге нам кажется, что микронареzy могут быть весьма многообещающими для пневматического оружия, но вот популярность их в ближайшем будущем вряд ли будет высокой, особенно среди новичков, которые хотят видеть обычные нарезы, когда заглядывают в ствол.

Вибрация ствола.

В области огнестрельного оружия вибрацию ствола зачастую считают основной причиной невысокой кучности. Скоростная фотосъёмка, проводимая для исследования этого феномена, показала, что ствол при выстреле действительно вибрирует и изгибается как червяк, в то время как пуля продвигается по стволу. В этом нет ничего удивительного, если вспомнить какое давление создаётся сгорающим порохом позади пули, и это давление продвигает весьма плотно сидящую пулю вдоль ствола.

Мы исследовали вибрации ствола, чтобы выяснить, насколько сильно они влияют на кучность пневматического оружия. Нас интересовали только вибрации, возникающие при продвижении пули по стволу, а не вибрации от пружины или поршня, поэтому для экспериментов мы использовали «компрессионный метатель». Позже в разделе компрессионной пневматики мы более подробно опишем его конструкцию, а пока

¹ Не буду спорить с авторитетами, но отмечу, что почему-то все известные мне спортивные винтовки и пистолеты оставляют заметные следы нарезов, как на головной части пули, так и на юбке.

скажем, что это, по сути, просто жёстко закреплённая компрессионная винтовка, чей ствол мог быть незакреплённым по большей части его длины.

Мы прикрепили датчик вибрации на дульную часть ствола, закреплённого только в казённой части, таким образом, все вибрации могли быть зафиксированы датчиком и отражены на экране осциллографа. Легкий удар рукой по любому месту ствола приводил к весьма заметному колебанию графика на экране, а вот выстрел из винтовки весьма незначительно отражался на том же графике. Мы также использовали нарисованные кружки перед дулом, которые соответствовали положению ствола в состоянии покоя, и которые пробивались пулей при вылете из ствола. Эта методика позволила нам определить, возникают ли вибрации до вылета пули или же после него.

Эксперимент показал наличие небольшой вибрации до вылета пули и, кроме того, после вылета пули. Ясно, что вибрации ствола после вылета пули уже никак не влияют на кучность стрельбы.

Были проведены и другие эксперименты, для проверки полученных результатов, а также, чтобы убедиться, что вибрация ствола практически не играет роли в образовании низкой кучности. Мы зажимали дуло в патрон тяжёлого токарного станка, а также крепили ствол в мягких резиновых кольцах – влияние на кучность было крайне незначительным¹. Гораздо более влиятельным фактором оказалась комбинация пули и ствола. Позже мы выяснили, что комбинация пули, ствола и скорости вылета оказывают куда большее влияние на кучность, чем вибрации ствола нормально работающей винтовки.

Смазка.

Чистка и смазка ствола это та область, которая всегда вызывала активные дискуссии. Правильно смазанная пружинно-поршневая винтовка всегда будет сохранять ствол достаточно смазанным, поскольку небольшое количество смазки и её взвеси вылетает вслед за пулей при каждом выстреле и частично осаждается в стволе. С другой стороны, компрессионные винтовки, или же пружинно-поршневые винтовки, работающие в фазе *popgun*, вообще не смазывают ствол. Marksmen, используя такие винтовки, часто пропагандировал использование небольшого количества смазки в виде аэрозоля для нанесения на пули перед началом соревнований. Многие годы никто даже не задумывался о том, что ствол пневматического оружия надо вообще чистить. Однако, сейчас зачастую качество винтовок и пуль таково, что потенциальная их кучность очень велика, поэтому чистый и немного смазанный ствол может давать весьма заметное преимущество. Тем не менее, как и во многих других областях деятельности, здесь тоже надо знать меру, поскольку слишком частая чистка ствола, особенно с использованием шомпола принесёт скорее больше вреда, чем пользы.

Дефекты.

Иногда стволы или из-за каких-то случайных происшествий, или из-за неправильного использования становятся изогнутыми. Если этот дефект незначителен и незаметен на глаз, то это может стать поводом для бесконечных разочарований, особенно если на винтовке установлена оптика – будут попытки списать неудачные выстрелы на неправильную установку оптики, на нелётную погоду и так далее. В принципе не так уж трудно выправить ствол обратно, если, конечно, дефект не сосредоточен в одном месте, как происходит, например, если в пружинно-поршневой винтовке с переломным стволом нажать на спуск, когда ствол ещё не до конца закрыт. В этом случае ствол будет весьма серьёзно повреждён в месте стыка с блоком казённика. Если же ствол можно отсоединить

¹ Тем не менее, на достаточно кучных РСР винтовках при стрельбе на дальние дистанции разная фиксация ствола уже оказывает своё достаточно заметное влияние на размер кучи.

от цилиндра, то его можно попробовать поправить, зажимая в тиски с прокладками из мягкой древесины.

Производители стволов пользуются системой, называемой «затенение» для проверки ровности стволов. Это весьма искусная методика, которая заключается в наблюдении тени от широкой чёрной полосы на внутренней стенке ствола. При вращении ствола тень плавно перемещается вдоль ствола. При этом тренированный глаз способен отмечать даже небольшие дефекты, которые могут быть тут же исправлены.

Наиболее же простой способ проверки состояния ствола и нарезов заключается просто в изучении его на просвет при достаточно ярком свете. Обычно глаз нормально фокусируется на глубину до трёх дюймов¹ от края ствола, соответственно на этой глубине можно визуально проверить наличие дефектов.

Также есть ещё метод для проверки формы и состояния нарезов на обоих концах ствола. Для этого ствол надо хорошо смазать, затем заткнуть на некоторой глубине тряпкой или чем-либо ещё и залить образовавшееся пространство расплавленной серой. После остывания серы, её нетрудно извлечь из ствола и изучить полученный слепок с помощью увеличительного стекла в поисках дефектов. Мы выяснили, что сера даёт более качественный отпечаток, чем традиционно используемый свинец. Главное в этом процессе не перегреть серу, иначе она превращается в субстанцию, подобную жевательной резинке.

И вообще с пневматическим оружием связано достаточно много забавных феноменов. Один из них таков: если отстрелять серию выстрелов и затем поднести казённый к губам и продуть ствол, то скорость следующего выстрела будет несколько выше, чем у предыдущих выстрелов. Объяснений этому феномену несколько. По одной из версий продувание ствола убирает из него тяжёлые пары смазки, что немного повышает скорость. Другое объяснение утверждает, что при выдохе на стенках ствола оседает тонкая плёнка влаги, которая работает как дополнительная смазка и облегчает движение пули. Последнее предположение кажется нам более логичным, поскольку если продувать ствол со стороны дула, то эффекта повышения скорости не наблюдается.

И в качестве последней мысли по поводу ствола можно рассмотреть конструкцию, которая, по сути, состоит только из ствола. Речь пойдёт о духовых трубках. Как ни странно, они показывают весьма неплохие показатели по кучности и дальности стрельбы, особенно если учесть, что с помощью лёгких трудно создать избыточное давление больше чем 1 PSI², если дуть в трубку. Тем не менее, туземцы умудряются с помощью такого оружия убивать птиц и даже обезьян на достаточно приличной дистанции, притом иногда даже без использования отравленных дротиков. Секрет же духовой трубки заключается в тщательном подборе длины трубки в зависимости от объёма лёгких охотника, чтобы получить нужную скорость. В то время, как пружинно-поршневая винтовка использует весьма плотно сидящую пулю, чтобы создать небольшой объём воздуха высокого давления позади ней, в духовой трубке дротик перемещается весьма свободно, чтобы позволить лёгким охотника обеспечить постоянное ускорение на всей длине трубки. Другими словами, используется большой объём воздуха низкого давления, вместо малого объёма воздуха высокого давления.

Нет сомнений, что длина трубки делается максимальной, чтобы наиболее полно использовать объём лёгких охотника, в то же время минимизируя объём путём уменьшения калибра трубки до минимально возможного в практическом применении размера дротика. Вес и конструкция дротика, вероятно, подбирались путём проб и ошибок, но успех окончательной комбинации несомненен и известен всему миру.

¹ То есть порядка 7,62 см. Кроме того, можно использовать пластинку с маленьким отверстием, по сути, диафрагму, для повышения глубины резкости.

² Около 0.07 атмосферы

Глава 10.

Отдача.

С тех пор, как мы написали книгу «The Air Gun from Trigger to Muzzle», вопрос отдачи стал гораздо больше интересовать айрганеров. Интерес к нему возник в частности и из-за проблем с прицелами, которые иногда разваливались на мощных винтовках, или, как минимум, ползли по направляющим, сбивая настройку. Без сомнения, основная причина изучения отдачи и по возможности её минимизация – это отрицательное влияние отдачи на весьма высокую точность, демонстрируемую современными винтовками с качественными пулями.

Однако тип отдачи, повреждающий прицелы, возникает только на пружинно-поршневых винтовках и вообще-то не является отдачей в полном смысле этого слова, но к этому мы вернёмся чуть позже.

Настоящая отдача.

Настоящая отдача возникает при ускорении пули из состояния покоя до её максимальной скорости у дульного среза. Это наглядное свидетельство третьего закона Ньютона, который гласит, что каждое действие порождает равное противодействие. Весьма часто владельцы как пневматического, так и огнестрельного оружия спорят о моменте возникновения отдачи, одни считают, что она возникает в момент покидания пулей ствола, а другие считают, что уже после покидания пулей ствола.

Действие отдачи можно явно проиллюстрировать на примере двух людей, стоящих лицом к лицу на гладком ледяном катке, если один из них попытается оттолкнуть другого, то в итоге оба разъедутся в противоположных направлениях, притом тот, кто легче будет двигаться быстрее и дальше. Из этого примера нетрудно понять, что если бы пуля была такая же тяжёлая как сама винтовка, то действие отдачи легко наблюдалось бы в момент начала движения пули. В этот момент винтовка начинает двигаться назад, одновременно с движением пули вперёд по стволу. И тот факт, что в реальности пуля много легче винтовки ничего, по сути, не меняет, время начала воздействия отдачи остаётся прежним, а меняется лишь её величина.

В реальности существует целых три типа отдачи, возникающих при стрельбе из компрессионной пневматики. Первая и наиболее важная – отдача от движения пули. Важна она не потому, что наибольшая по величине, а потому, что возникает в момент, когда пуля ещё находится в стволе и поэтому сильно влияет на точность. Вторая возникает из-за реактивного эффекта, появляющегося при вытекании из ствола сжатого воздуха после вылета пули, и, наконец, третья отдача возникает из-за выталкивания пулей воздуха перед собой. Последним фактором можно пренебречь ввиду малой массы выталкиваемого воздуха и его относительно небольшой скорости, что в итоге приводит к его ничтожному влиянию на отдачу в целом.

Реактивный эффект может показаться неожиданным, но как пример можно представить себе огнестрельное оружие как ракету, то есть без пули и снаряжённое большим количеством пороха, тогда при выстреле образуется очень большое количество газов, которые с большой скоростью будут вытекать из ствола и соответствующее противодействие отправит ракету в небо. В случае же пневматического оружия, противодействие расширяющемуся воздуху толкает оружие в плечо стрелка, вместо того чтобы поднимать в воздух ракету. В принципе воздух можно рассматривать как ещё один метательный снаряд, расположенный позади обычной пули. Естественно, вес его много меньше веса пули, зато при вылете из ствола двигаться он может быстрее. Этот эффект может быть достаточно заметен в общей отдаче, как мы продемонстрируем позже.

Ранее мы уже говорили, что отдача возникает, когда пуля покидает казённый, это также подразумевает, что отдача прекращается, когда пуля покидает ствол. Также мы

показали, что отдача от реактивного эффекта возникает уже после того, как пуля покинула ствол. В качестве наиболее яркого примера можно рассмотреть огнестрельное гладкоствольное оружие. При выстреле стрелок ощущает сильный удар приклада в плечо, который состоит из трёх основных компонент, описанных выше, плюс ещё отдача от вылета пыжа, который является составной частью заряда. Позже мы продемонстрируем, что в этом случае отдача от реактивного эффекта может составлять до двух третей от общей отдачи. При этом следует помнить, что только часть отдачи, которая возникает при движении пули, влияет на точность, а часть отдачи, создаваемая реактивным эффектом, на точность уже не влияет, поскольку пуля уже покинула ствол. Аналогичная ситуация возникает и в случае мощного компрессионного пневматического оружия, когда отдача, создаваемая реактивным эффектом, составляет значительную часть от общей отдачи.

Величина отдачи, создаваемой двигающейся пулей, зависит от трёх факторов: веса пули, скорости пули и веса оружия. Это тут же объясняет, почему даже весьма мощное пневматическое оружие даёт относительно небольшую отдачу – пуля достаточно лёгкая, скорость относительно низкая, а масса оружия по сравнению с пулей весьма велика. Так как вес оружия является существенным фактором, то не стоит забывать и о стрелке, поскольку при надлежащей подгонке приклада он хорошо упирается в плечо и стрелок, по сути, становится частью общей системы, фактически, делая оружие тяжелее. Разумеется, то же рассуждение применимо и к огнестрельному оружию, притом даже в большей степени, поскольку величина отдачи в нём заметно больше.

А теперь рассмотрим более подробно первую составляющую отдачи, то есть обратное движение винтовки при движении пули вперёд. По третьему закону Ньютона, давление,двигающее пулю вперёд, с той же силой воздействует и на винтовку, толкая её назад, создавая, таким образом, отдачу. Эти два действия происходят одновременно, пока пуля находится в стволе. По закону сохранения импульса, произведение скорости пули на её массу должно равняться произведению скорости винтовки на её массу.

Т.е. если обозначить:

Массу винтовки	M
Массу пули	m
Скорость винтовки	V
Скорость пули	v

то будет выполняться равенство: $m \times v = M \times V$

Поскольку масса вычисляется, как вес, делённый на ускорение свободного падения, то можно переписать равенство в виде: $\frac{w \times v}{g} = \frac{W \times V}{g}$, где w – вес пули, W – вес винтовки, а g – ускорение свободного падения, которое, как очевидно, одинаково как для пули, так и для винтовки.

Отсюда получаем следующие формулы:

$$w \times v = W \times V \tag{1}$$

$$V = \frac{w \times v}{W}$$

Теперь мы можем посчитать скорость отдачи и, соответственно, энергию, переданную винтовке.

Вес винтовки (W)	6.625 фунта	3 кг
Вес пули 0.22 (w)	0.00214 фунта (15 гран)	0.97 г
Скорость пули (v)	430 FPS	131.15 м/с

Подставляя эти цифры в уравнение получаем:

$$V = \frac{0.00214 \times 430}{6.625} = 0.1389 \text{ FPS}$$

И пользуясь известным уравнением:

$$E = \frac{W \times V^2}{2g}$$

получаем, что

$$E = \frac{6.625 \times (0.1389)^2}{2 \times 32.16} = 0.002 \text{ Ft}\cdot\text{lbs}^1$$

Будучи людьми практичными, мы не могли оставить исследования отдачи только в виде математических формул, поэтому мы провели и некоторые натурные эксперименты. Мы подвесили пружинно-поршневую винтовку² на двух подвесах так, чтобы ствол был строго горизонтально и оставался горизонтальным при раскачивании винтовки отдачей. Затем мы нанесли метку на боковую поверхность винтовки и прикрепили под ней линейку, чтобы при выстреле сфотографировать положение винтовки, определить величину отклонения и вычислить величину отдачи. Спуск производился с помощью соленоида, укрепленного на прикладе, причём, поскольку он был укреплен под прямым углом к линии ствола, то его движение никак не сказывалось на величине отдачи.

После выстрела винтовка начинала раскачиваться взад и вперёд, как маятник, при этом слегка приподнимаясь. Величина этого вертикального перемещения винтовки как раз и нужна нам для вычисления точной величины отдачи. Если мы знаем вес винтовки и знаем, насколько она поднялась, то мы тут же можем посчитать энергию, переданную винтовке при выстреле. Поскольку длина подвесов нам известна и величина отклонения тоже, то с помощью несложным математических формул можно посчитать величину отдачи. Из уравнения (1) ясно, что пуля калибра 0.177 будет давать меньшее отклонение и меньшую отдачу, чем пуля калибра 0.22. В ходе нашего эксперимента мы установили, что пуля калибра 0.22 и весом в 15 гран даёт отклонение в 0.4 дюйма для винтовки весом 6.625 фунта при длине подвеса в 22 дюйма³. Соответственно, используя теорему Пифагора можно посчитать величину вертикального смещения (**рис. 10.1**).

$$CB=(y+x)=22$$

$$x=22-y \tag{1}$$

Поскольку треугольник ABD прямоугольный, то $AB^2=BD^2+AD^2$.

Отсюда:

$$\begin{aligned} 22^2 &= x^2 + 0.4^2 \\ x^2 &= 22^2 - 0.4^2 \end{aligned} \tag{2}$$

Используя уравнение (1)

$$\begin{aligned} x^2 &= (22-y)^2 \\ x^2 &= 22^2 - y^2 - 44 \cdot y \end{aligned}$$

¹ Соответственно скорость винтовки 0.042 м/с, а энергия винтовки 0.0027 Дж.

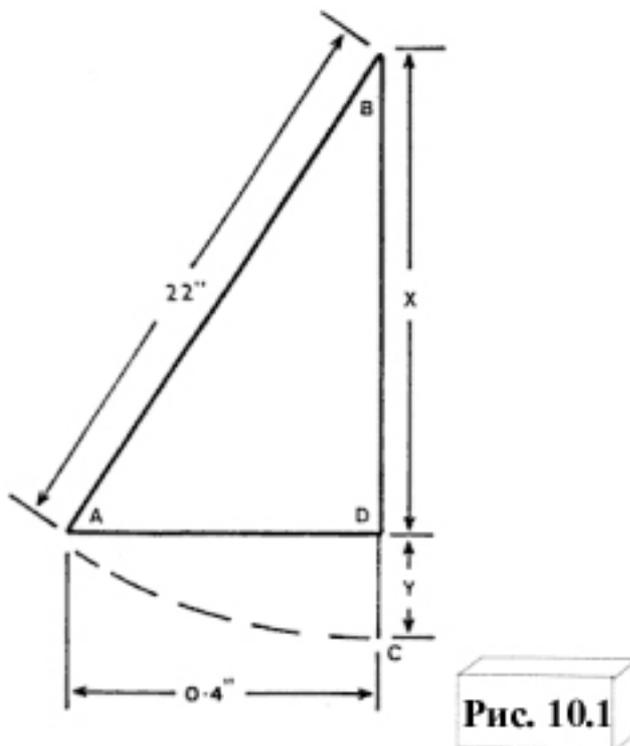
² В оригинале чётко указывается, что винтовка пружинно-поршневая, да и по тексту далее видно, что так и есть, хотя, судя по ходу и результатам эксперимента, я бы сказал, что винтовка была компрессионная.

³ Параметры винтовки см. выше в таблице, а отклонение составило 10.16 мм при длине подвеса 558.8 мм.

Подставляя в уравнение (2)

$$22^2 - (0.4)^2 = 22^2 - y^2 - 44 \cdot y$$
$$y^2 - 44 \cdot y + (0.4)^2 = 0$$

Решая это квадратное уравнение, получаем: $y = 0.0036$ дюйма.



То есть в данном случае винтовка поднялась на 0.0036 дюйма или 0.0003 фута. С учётом веса винтовки в 6.625 фунта это даёт энергию 0.002 Ft·lbs¹.

Таким образом, получаем, что энергия отдачи весьма незначительна, и при учёте потерь энергии ей можно просто пренебречь. Однако интересен тот факт, что полученная экспериментально величина отдачи точно совпала с величиной отдачи от пули, посчитанной теоретически, хотя по идее должна была быть незначительная разница из-за наличия реактивного эффекта. Эта незначительная разница может быть получена экспериментальным путём, но вряд ли может быть определена стрелком, который ощущает её как часть общей отдачи.

Реактивный эффект.

Будучи людьми любопытными, мы попробовали выделить пусть очень малый реактивный эффект экспериментальным путём. Для этого мы сделали дульный тормоз и прикрепили его на дуло винтовки. Обычно это устройство используется военными, чтобы уменьшить отдачу и развернуть поток газов, вытекающий из ствола. В нашем случае дульный тормоз был продолжением ствола, увеличивающим его длину примерно на два дюйма². Три маленьких отверстия были просверлены в стенке этого устройства, под углом примерно 30° к оси ствола. Таким образом, по идее в момент прохождения пулей этих дополнительных двух дюймов, поток газа за ней должен был выходить через отверстия в обратном направлении и толкать винтовку вперёд. Результат эксперимента разочаровал нас, возможно, это произошло из-за относительно невысокого давления и небольшого

¹ Соответственно подъём на 0.09мм и энергия 0.0027 Дж.

² Около 5см

объёма воздуха в пружинно-поршневой винтовке. Мы надеялись, что сможем измерить разницу в раскачивании винтовки с использованием дульного тормоза и без него, однако, наблюдаемая разница была столь незначительна, что её не удалось измерить. Такова судьба исследования!

Изучая отдачу во всех подробностях, мы осознавали, что наше исследование было бы неполным без изучения отдачи на компрессионной винтовке. Мы аналогичным образом подвесили рабочую часть нашего *метателя*¹ (рис. 15.5) на подвесах той же длины, что и в эксперименте с пружинно-поршневой винтовкой. Мы также довели грузы, чтобы вес в итоге полностью совпадал с весом используемой в предыдущем эксперименте пружинно-поршневой винтовки, чтобы можно было провести непосредственное сравнение между двумя винтовками.

При выстреле компрессионная винтовка отклонилась заметно дальше, чем пружинно-поршневая. Поскольку дистанция отдачи была столь велика, то мы не стали проводить вычисления, как в прошлый раз, а просто нарисовали дугу с радиусом равным длине подвеса и непосредственно измерили подъём компрессионной винтовки при откате.

Как уже было сказано, результат, который мы получили при измерении общей отдачи компрессионной винтовки, был заметно больше, чем для пружинно-поршневой винтовки при одинаковых условиях. Мы получили энергию отдачи в 0.012 Ft·lbs вместо полученных для пружинно-поршневой винтовки 0.002 Ft·lbs². Это расхождение привело нас к предположению, что добавочная отдача может быть следствием реактивного эффекта, поскольку при выстреле из компрессионной винтовки вылетает больше воздуха, чем при выстреле из пружинно-поршневой винтовки. Дальнейшая серия экспериментов преподнесла ещё ряд интересных фактов, связанных с отдачей компрессионной винтовки. Были проведены выстрелы с дульной энергией от 6 до 45 Ft·lbs³, в некоторых случаях выстрелы производились без пули, в некоторых случаях использовался глушитель, а иногда и дульный тормоз, описанный выше.

При выстрелах с нормальной мощностью, то есть около 12 Ft·lbs⁴, была отмечена лишь незначительная разница в отдаче, независимо от того использовался глушитель или дульный тормоз или нет. В случае же если выстрел производился без пули, то отдача составляла величину между половиной и двумя третями от величины отдачи при наличии пули.

Однако при выстрелах с большей мощностью ситуация заметно изменилась. Например, при стрельбе пулей весом 14.4 гран со скоростью 1134 FPS, что составляет примерно 41.1 Ft·lbs дульной энергии, была получена энергия отдачи в 0.56 Ft·lbs⁵.

При установке глушителя энергия отдачи падала до 0.37 Ft·lbs, при установке дульного тормоза – до 0.126 Ft·lbs, а при выстреле без пули – до 0.39 Ft·lbs⁶. То есть опять в случае, если выстрел производился без пули, то отдача составляла величину близкую к двум третям от величины отдачи при наличии пули. Это значение должно быть примерно равно величине реактивного эффекта.

В случае наличия глушителя уменьшение отдачи связано с расширением воздуха внутри глушителя. Размер и конструкция глушителя также влияют на величину отдачи. Глушитель большего размера понижает давление воздуха сильнее, чем глушитель меньшего размера, соответственно, уменьшение отдачи с ним будет большим, чем с глушителем меньшего размера.

¹ Видимо, всё тот же «компрессионный метатель», который упоминался в главе 9, в «вибрации ствола».

² То есть для компрессионной винтовки 0.016Дж и для пружинно-поршневой - 0.0027Дж.

³ Соответственно от 8.13 до 61Дж.

⁴ Примерно 16.27Дж

⁵ Пуля массой 0.93 грамма, скорость вылета 345.87 м/с, дульная энергия 55.72Дж, а энергия отдачи 0.76Дж.

⁶ Соответственно 0.50Дж, 0.17Дж и 0.53Дж.

Если посчитать величину отдачи, возникающей от вылета пули из компрессионной винтовки, то она будет примерно 0,0128 Ft·lbs для пули весом 14.4 гран, вылетающей со скоростью 1134 FPS из винтовки, весящей 6.62 Lbs¹. Разница между этой величиной и полученной в эксперименте величиной в 0.56 Ft·lbs как раз и должна быть энергией, полученной от реактивного эффекта.

И перед тем, как закончить разговор о настоящей отдаче, стоит бегло пройтись по столь популярному огнестрельному оружию как дробовик 12 калибра. Вес его примерно такой же, как у пневматической винтовки и вычисление показывает, что дробовик весом 6.5 Lbs получит примерно 16.9 Ft·lbs энергии отдачи при выстреле 500 гран свинца со скоростью 1200 FPS². Однако эксперимент показал наличие энергии отдачи 31 Ft·lbs³, то есть почти вдвое больше, чем было получено при расчёте. Это расхождение в два раза как раз и является ярким проявлением реактивного эффекта.

Отдача пружины.

Вернёмся теперь к отдаче, которая ломает прицелы, о ней мы уже упоминали в начале главы. Эта отдача появляется из-за движения вперёд поршня. Предположим, что винтовка взведена, поршень находится в заднем положении и пружина позади него сжата. В момент нажатия на спусковой крючок пружина начинает весьма быстро толкать вперёд поршень. Однако и тут работает третий закон Ньютона, возникает соответствующее противодействие. Поэтому когда поршень движется вперёд, винтовка обязана двигаться назад, толкаемая распрямляющейся пружиной. Это движение назад весьма заметно, поскольку поршень обычно достаточно массивный и движется не так уж медленно. Кроме того, примерно половина веса пружины также участвует в движении вперёд, то есть это вес надо добавлять к весу поршня. Это добавление появляется потому, что при распрямлении пружины передние витки двигаются вперёд вместе с поршнем, толкаемые задними витками.

В результате этого движения вперёд пружины и поршня, винтовка поначалу резко уходит назад, толкая в плечо стрелка, но потом в момент максимального ускорения винтовки поршень с пружиной наталкиваются на подушку сжатого воздуха в передней части цилиндра и достаточно резко останавливаются. Соответственно движущаяся назад винтовка получает резкий толчок вперёд, из-за резкой остановки поршня и пружины и эта смена направления движения происходит за очень короткий промежуток времени. Кроме того, возможны ещё несколько более слабых толчков винтовки, когда поршень будет отскакивать назад, сжимая пружину, и снова вперёд, дожимая воздух. Эта внезапная и резкая смена направления движения как раз и является причиной выхода из строя прицелов или любого другого оборудования, укрепленного на винтовке. Сила и частота этих «ударов» варьируется в зависимости от винтовки и веса пули, но, тем не менее, наибольшего размаха они достигают в случае винтовки, работающей в фазе *combustion*, в этом случае воздействие на прицел может быть просто катастрофическим.

Проводились различные попытки оценить силы, воздействующие на прицел при выстреле из пружинно-поршневой винтовки. Эти силы можно оценить в терминах g, точно также как перегрузки, действующие на пилота скоростного истребителя при маневрировании. В ходе изучения данной проблемы мы выяснили, что существует много факторов, вовлечённых в этот процесс, которые мы не можем достаточно аккуратно посчитать. Поэтому мы обратились за помощью к нашему коллеге, которого зовут Roy Elsom, он также помогал нам ещё при написании книги «*The air gun from Trigger to Muzzle*» и соответственно, вполне осознавал сложность проблемы. Кроме того, он сейчас

¹ Отдача 0.017Дж, характеристики пули см. в сноске 5, масса винтовки 3кг.

² Масса дробовика 2.95кг, энергия отдачи 22.9Дж, масса заряда 32.35грамма, скорость вылета 366 м/с.

³ Примерно 42Дж.

профессиональный инженер по вибрациям¹ и имеет доступ к соответствующему оборудованию, чтобы непосредственно измерить возникающие ускорения.

Мы использовали винтовку HW 35 калибра 0.22, весящую 8 фунтов и выдающую скорость около 550FPS². Мы укрепили датчик ускорения на конец стального стержня, намертво соединённого с крепежом прицела. Стержень весил 1.5 Lbs³, что вполне соответствует весу среднестатистического прицела. При выстреле пулей весом в 15 гран⁴, датчик зафиксировал ускорение около 25g. После этого мы прикрепили этот «прицел-акселерометр» на другую винтовку, HW 80, которая весит 9 фунтов и выдаёт скорость около 660 FPS⁵. В этом случае датчик зафиксировал ускорение в 20g. Небольшой впрыск в цилиндр горячего спровоцировал детонацию, при этом скорость возросла до 870FPS⁶, а ускорение до 60g. Таким образом, как и во многих других показателях пневматического оружия, ускорение при отдаче не линейно зависит от скорости, зависимость здесь более сложная. Детонация, даже слабая, резко увеличивает ускорение, воздействующее на прицел, выстрел без пули не даёт заметного снижения ускорения, а вот выстрел в фазе *combustion* демонстрирует небольшое снижение ускорения отдачи. Мы пришли к выводу, что это снижение ускорения отдачи, вероятно, связано с тем, что образующиеся в этой фазе газы более мягко тормозят поршень.

Если некий предмет движется с ускорением 2g, то его вес удваивается. В нашем же эксперименте ускорение достигало 60g. Нетрудно представить, что будет происходить внутри прицела при выстреле, когда вес каждой его детали внезапно увеличивается в 60 раз или больше. Также следует отметить, что такое обращение не лучшим образом сказывается на пружине, которая также может необратимо пострадать.

Что же касается компрессионных винтовок или огнестрельного оружия, то они куда менее требовательны к прицелам, поскольку все они обеспечивают только однонаправленную отдачу. В случае же если прицел плохо закреплён, то при выстреле из огнестрельного оружия он будет сползать вперёд, в сторону дульного среза ствола, а вот в случае пружинно-поршневой винтовки – наоборот назад.

Отдача кручения.

Этот тип отдачи также следует упомянуть для полноты изложения, хотя его эффект при выстреле ничтожен. Речь идёт о том, что вращающаяся пуля порождает обратную реакцию винтовки, то есть винтовка начинает вращаться в противоположную сторону, хоть и очень незначительно из-за большой разницы в весах пули и винтовки. Соответственно, этой отдачей на практике можно просто пренебречь, хотя в случае, когда речь идёт о военной области, например, о безоткатном оружии, то там уже эта отдача может оказывать более заметное влияние на общий результат.

¹ В оригинале было vibration engineer. По сути, наиболее близкий отечественный аналог – инженер КИПиА, то есть по Контрольно-Измерительным Приборам и Аппаратуре

² То есть калибр 5.5, скорость 167.75м/с, вес 3.62кг.

³ Вес стержня 0.68кг.

⁴ Масса пули 0.97г.

⁵ Вес винтовки 4кг, скорость пули 201.3м/с.

⁶ Скорость 265.35м/с.

Глава 11.

Смазка.

Смазка пружинно-поршневой винтовки является достаточно сложным предметом. Как было сказано в предыдущих главах, когда обсуждалось функционирование винтовки в фазе *combustion*, способность смазки к воспламенению может иметь для эффективности винтовки едва ли не большее значение, чем её собственно смазочные свойства. Способность смазки к воспламенению варьируется достаточно широко и зависит от множества факторов, в числе которых консистенция смазки, а также условия внутри винтовки. Для начала мы разберём требования к смазке пружинно-поршневых винтовок, а что касается компрессионных – то поскольку их требования к смазке весьма кардинально отличаются от требований пружинно-поршневых винтовок, то разбирать эту тему мы будем позднее, в главе 14, где будет проводиться анализ работы компрессионных винтовок.

Вполне логичным будет сначала описать собственно суть работы смазки в любом механизме. Когда расположенная между двумя близкими плоскостями смазка образует тонкую плёнку, она разделяет эти поверхности и позволяет им свободно скользить друг относительно друга. Когда же смазки нет, эти поверхности начинают тереться друг о друга во время движения. Если приложить достаточное усилие по сдавливанию этих плоскостей, то они могут даже слипнуться и двигаться только совместно, это явление иногда называют «заедание». Кроме того, гладкие поверхности лучше поддаются смазке, чем шершавые, поэтому для хорошего функционирования пневматической винтовки весьма рекомендуется полировать и смазывать трущиеся поверхности, в этом случае винтовка будет показывать более высокие результаты и меньше изнашиваться.

Можно предположить, что с точки зрения обеспечения свободного скольжения деталей, для смазки пружинно-поршневой винтовки подойдёт почти любая смазка, поскольку в ней очень мало поверхностей, сильно прижимающихся друг к другу. Когда изучается вопрос смазывания поверхностей, то внимание надо обращать в первую очередь на удельное давление на единицу площади, а не на общую силу, воздействующую на поверхность в целом. Возможно, наибольшее удельное давление оказывается на штифты тяги взведения, поскольку они обычно делаются очень маленькими для той нагрузки, которую испытывают при взведении, поэтому они нуждаются в аккуратном обращении и регулярной смазке. Ось перелома ствола на винтовках с переломным стволом также заслуживает рассмотрения – не потому, что она испытывает большие нагрузки, ибо размер её обычно много больше, чем оси тяги взведения, но зато эта ось испытывает заметную нагрузку, когда поршень ударяется о переднюю стенку цилиндра. Примерно также как крепления прицела передают отдачу на прицел, ось перелома ствола передаёт отдачу цилиндра стволу. Тонкий слой густой смазки в этом месте может защитить эту ось от повреждений.

Также жизненно важно, чтобы боковые стороны казённого, вокруг оси перелома ствола, были хорошо смазаны. Эти боковые стороны должны одновременно удовлетворять двум противоречивым требованиям – с одной стороны, должны позволять легко взводить винтовку, не создавая дополнительного сопротивления, а с другой стороны, должны надёжно фиксировать ствол в закрытом положении. Чаще всего это противоречие возникает при плотной посадке оси перелома ствола, чтобы в закрытом положении торец казённого очень плотно прижимался к торцу цилиндра. В течение многих лет конструкторы использовали разные способы разрешения этого противоречия. В ход шли различные прокладки, шайбы обычные и вогнутые, пружины, которые фиксировали ствол в закрытом состоянии, но не мешали при взведении, каждый производитель решал эту задачу по-своему. В наиболее дешёвых винтовках узел перелома ствола сделан просто в виде расклепанной оси. Видимо, производители считают винтовку

настолько дешёвой, что когда этот узел ослабнет, будет проще купить новую винтовку, чем отремонтировать старую.

Пожалуй, наиболее критичная с точки зрения смазки поверхность в пружинно-поршневой винтовке – это передняя часть поршня, со стороны спускового крючка. Именно эта часть поршня очень сильно прижимается к стенке цилиндра при взведении винтовки. Если это место не будет смазано, то со временем на цилиндре и поршне начнут появляться царапины, а при взводе винтовки появится скрежещущий звук. В какой-то момент взведение винтовки станет просто невозможным, потому что поршень окончательно заклинит в цилиндре.

Как мы уже сказали выше, все эти поверхности нуждаются в соответствующем уходе. Однако, следует понимать, что большинство смазок по сути состоят из масла и некоего связующего материала, в котором масло содержится примерно как вода в губке. По мере того, как масло будет использовано, на поверхности останется напоминающий мыло тонкий слой связующего вещества, обычно чернеющего со временем из-за попадающей грязи. В некоторых случаях это связующее вещество может также обладать смазочными свойствами, как, например, графитовый или молибденовый наполнитель, который весьма часто используется аэроаэрациями для смазки винтовок.

Если речь идёт о смазке механизмов, особенно с быстро движущимися частями, не следует забывать и такой вещи, как избыток смазки, которая также может нанести вред механизму. Наиболее простым примером такого вреда может служить обычный шарикоподшипник, избыточно покрытый густой смазкой. В таком случае при движении густая смазка будет поглощать часть энергии, тормозя движение и разогреваясь, передавая своё тепло шарикам в подшипнике. Шарик при нагревании расширяется, ещё больше увеличивая трение и, следовательно, нагревание. В итоге это процесс может привести к полному заклиниванию подшипника. Как правило, к такому результату приводит избыток густой смазки, гораздо реже к нему приводят жидкая смазка или тонкий слой густой смазки.

Проблемы смазки поршня мы уже обсуждали в главе, посвященной поршню, однако здесь добавим ещё несколько слов. Избыток смазки тормозит движение поршня, и величина этого торможения зависит от площади поверхностей и плотности их прилегания. В старых винтовках была популярна конструкция поршня в виде катушки, то есть с широкими краями и с сужением посередине. Такая конструкция преследовала две цели: во-первых, уменьшалась поверхность контакта с цилиндром, а во-вторых, уменьшался эффект торможения поршня. Стоит также отметить, что в отличие от старых конструкций, в современных винтовках поршень, как правило, цилиндрический, без каких-либо сужений в середине.

Практически неизбежная прорезь вдоль цилиндра, через которую ходит тяга взведения, означает, что смазка в цилиндре непосредственно контактирует с окружающей средой, появляется возможность попадания внутрь грязи и пыли, в отличие от, например, почти герметичных амортизаторов в подвеске современного автомобиля. Воздух может приводить к окислению смазки, а попадание пыли и грязи – к превращению смазки в некую густую массу, которая не лучшим образом будет сказываться на работе винтовки.

Собственно смазочные свойства любой смазки это только минимальное требование для пружинно-поршневой винтовки, поскольку существует ещё множество специфических требований, которым смазка должна удовлетворять. Например, как было сказано выше, есть контакт смазки с воздухом и влагой окружающей среды, поэтому смазка должна успешно сопротивляться их воздействию. Некоторые смазки, будучи оставлены открытыми на воздухе, достаточно быстро распадаются, такие смазки также не подойдут для использования в пружинно-поршневой винтовке. Также смазка не должна сильно разжижаться при повышении температуры, иначе она может просто вытечь из винтовки в

жаркий день. Кроме того, смазка не должна разлагаться на масло и связующий материал, ибо иначе через некоторое время в винтовке останется только связующий материал, а масло вытечет, например, на приклад, оставляя на нём характерные следы.

Что же касается спортивных винтовок, то там весьма важным становится способность смазки к воспламенению, то есть возможность использовать её как топливо. Количество различных марок смазки на рынке огромно и каждый год, как весенние цветы, появляются новые марки, а старые со временем исчезают. Каждая смазка взаимодействует с воздухом немного по-своему, хотя общий смысл остаётся простым – поршень сжимает воздух, смазка воспламеняется и добавляет пуле скорости.

На практике, однако, обнаруживается весьма заметная разница при смазывании винтовки различными типами смазки, которые мы условно называем «активными» и «пассивными». Активные смазки легко воспламеняются, и винтовка с ними работает в фазе *combustion*. Более густые пассивные смазки имеет смысл использовать в мощных пружинно-поршневых винтовках, поскольку они гораздо хуже воспламеняются и меньше шансов, что винтовка выйдет в нестабильный режим, то есть будет показывать большой разброс скоростей или даже начнёт работать в фазе *detonation*.

Ещё одной трудностью при выборе оптимальной смазки является высокая температура в цилиндре в момент максимального сжатия. Эта температура может достигать тысячи градусов Цельсия, правда, на очень короткий момент. При такой температуре воспламеняется любая синтетическая или минеральная смазка, даже манжета поршня иногда бывает оплавлена такой температурой перегретого воздуха.

Эти высокие температура и давление в цилиндре винтовки сравнимы с аналогичными показателями в дизельном двигателе. В нём как раз воспламенение топлива производится путём сжатия воздуха и получения высокого давления и температуры. Фундаментальное различие между дизельным двигателем и пружинно-поршневой винтовкой состоит в том, что топливо в двигателе впрыскивается в строго отмеренном количестве и в строго определённый момент, как правило, когда поршень достигает точки максимального сжатия воздуха. В случае же пружинно-поршневой винтовки, смазка накапливается перед поршнем по мере его движения вперёд и воспламеняется в относительно произвольный момент. Хотя на практике воспламенение в основном происходит в перепускном канале (см. главу 8).

Также следует упомянуть и смазки в виде сухого порошка, например, молибденовые или графитовые. Они характерны тем, что не воспламеняются при высокой температуре и давлении. Но применять их в пружинно-поршневой винтовке проблематично. Как часть исследования фазы *combustion* мы пробовали смазывать пружинно-поршневую винтовку только сухой графитовой смазкой. Это тут же привело к сильному падению скорости и кроме того, появился неприятный механический звук из винтовки, поскольку больше не было тонкой смазочной плёнки между трущимися поверхностями.

Если же смазка окажется слишком активной для конкретной винтовки, то это приводит к образованию лишнего шума при выстреле и дымку из дула. Однако не следует забывать, что та же самая смазка может оказаться вполне подходящей для более слабой винтовки. В случае если манжета поршня изношена или повреждена и пропускает избыток смазки перед поршнем, то винтовка становится совершенно непредсказуемой. Часть выстрелов происходит с весьма большой скоростью, часть, наоборот, с малой скоростью, а также нередко наблюдает густой чёрный дым из ствола. В качестве параллели к этому случаю можно привести пример старого дизельного грузовика, который едет на избыточно обогащённой смеси, оставляя за собой шлейф густого чёрного дыма, в то время как новый дизель оставляет едва заметный дымок и слабый запах сгоревшего топлива. То же самое касается и пружинно-поршневой винтовки. В случае,

если количество смазки оптимально, то дым из ствола вообще не наблюдается. Если же открыть казённый и посмотреть через ствол на свет, то можно заметить лёгкий золотистый туман, а даже если его нет, всё равно можно почувствовать лёгкий запах сгоревшей смазки из дула винтовки.

Свойства различных типов смазок уже обсуждались в главе «Воздух», однако, практически невозможно предсказать, как поведёт себя конкретная смазка в конкретной винтовке. Мы пришли к выводу, что наиболее простое решение этой проблемы – метод проб и ошибок. Окончательный выбор зависит от многих факторов и, прежде всего, от того, что ожидается от винтовки. Также на выбор повлияют и многие другие факторы, такие как мощность пружины, тип и материал манжеты, и многие другие.

Как правило, если винтовка используется для стрельбы по бумажным мишеням на относительно небольшой дистанции, то для смазывания используется очень небольшое количество пассивной смазки, что позволяет обеспечить очень стабильную, хоть и невысокую скорость от выстрела к выстрелу. С другой стороны, если винтовка используется для стрельбы на большие дистанции, то требуется большая скорость, соответственно, используется активная смазка. В промежутке между двумя этими крайностями лежит огромное множество конкретных ситуаций, каждая из которых требует своего количества и типа смазки, для наилучшего удовлетворения поставленным условиям.

Что же касается смазывания пружины, то консистенция смазки не должна быть ни слишком густой, ни слишком жидкой. В первом случае она будет тормозить движение пружины и поршня, а во втором просто вытечет со временем на приклад. Наиболее оптимальной является густота примерно как у густых сливок.

Для борьбы с двумя частыми проблемами в виде загрязнения и стекания смазки, рекомендуется добавлять смазку часто, но понемногу. К тому же полезно периодически разбирать винтовку, протирать детали и возможно, заменять некоторые износившиеся части. Точное время между проведениями смазки винтовки сложно предсказать, поскольку оно зависит от многих факторов, в том числе от количества выстрелов и условий хранения винтовки. Если она хранится вертикально, прикладом вниз в тёплом месте, то весьма вероятна ситуация, когда смазка стечёт в заднюю часть цилиндра или даже на приклад. И наоборот, если винтовка хранится горизонтально, в прохладном месте, то смазка будет оставаться на своём месте достаточно долгое время без каких-либо изменений.

Количество смазки, требуемое для конкретной винтовки, опять-таки зависит от целей её использования. Например, винтовки, работающие в фазе *popgun*, требуют гораздо меньше смазки, чем винтовки для стрельбы на дальние дистанции. В ходе наших экспериментов мы собирали винтовку вообще без смазки перед поршнем и лишь чуть-чуть добавляли смазку на манжету поршня. Основное же количество смазки обычно приходится на пружину, перед тем как её вставляют внутрь поршня, однако, это количество никогда не должно быть столь большим, что смазка выдавливается из поршня при взведении винтовки.

Мы уже несколько раз упоминали в этой главе о существовании большого количества различных смазок на рынке. Хотя некоторые из них лучше, чем другие для конкретной винтовки, мы думаем, что универсальная оптимальная смазка ещё не разработана и вряд ли будет разработана вообще, поскольку разные винтовки предъявляют разные требования к смазке. Возможно, набор из примерно пяти типов смазок сможет покрыть весь диапазон требований, они должны варьироваться по степени «активности» от полностью пассивных смазок до очень активных смазок. И в любом случае пользователь всегда будет выбирать смазку, подходящую именно для его винтовки и для его целей.

Также следует упомянуть и о неизбежном падении мощности винтовки, работающей в фазе *combustion*, по мере убывания активных компонент смазки. Зачастую это приводит к недоразумениям, особенно среди новичков, кто покупает свою первую винтовку и видит, что после нескольких месяцев эксплуатации мощность начинает падать. Обычно в таком падении мощности обвиняют пружину, хотя в реальности пружина осталась практически без изменений. Источник этой проблемы в том, что активные компоненты смазки или размазались по разным деталям винтовки, или же просочились через манжету поршня и просто сгорели в цилиндре. Другими словами, можно сказать, что у винтовки «кончилось топливо». Именно поэтому мы рекомендуем смазывать винтовку часто, но понемногу. Не все продукты сгорания смазки выходят в виде дыма из ствола, часть из них остаётся в цилиндре и вместе с несгоревшей смазкой образует вязкий нагар на манжете поршня и даже в перепускном канале, что отрицательно сказывается на эффективности винтовки. Некоторые типы смазки могут работать дольше, чем другие, но эту характеристику можно проверить только с помощью практики.

Весьма курьёзный момент – после разборки и смазки винтовки скорость нередко падает, и возвращается обратно только через некоторое количество выстрелов. Мы объясняем этот феномен тем, что пружинно-поршневая винтовка весьма чувствительна к смазке. Поскольку смазка имеет много разных параметров, влияющих на общее функционирование винтовки, то далее ситуация может складываться по-разному, в зависимости от того, насколько параметры смазки соответствуют винтовке. В некоторых случаях, смазав винтовку не подходящей смазкой, можно получить спад дульной скорости, который пройдёт только после многих выстрелов.

С появлением на рынке силиконовой смазки начались попытки использовать её для смазывания пружинно-поршневых винтовок, но с ней надо быть весьма осторожным, поскольку такая смазка вообще-то не предназначена для смазывания металлических поверхностей, трущихся под давлением. Зато такой смазкой можно смазывать пластиковые или кожаные детали, трущиеся о металл. Например, имеет смысл использовать силиконовую смазку для смазывания манжеты поршня, а вот сам поршень придётся смазывать более традиционными средствами, что приведёт к смешению двух разных типов смазок и весьма сомнительным результатам при эксплуатации. Тем не менее, использовать силиконовую смазку в пружинно-поршневой винтовке вполне можно – она служит отличной защитой металлических поверхностей от влажного воздуха, чем нередко пользуются при хранении.

Нам кажется достаточно бессмысленным вариант со смазкой пружинно-поршневой винтовки разными типами смазки – одна для пружины, другая для поршня, третья для манжеты и т.д. Дело в том, что при выстреле, когда поршень быстро двигается вперёд и потом резко тормозит, все эти смазки перемешаются, а получившаяся смесь может обладать весьма сомнительными характеристиками с точки зрения как смазочной способности, так и способности к воспламенению, что в итоге приведёт к падению дульной скорости. А поскольку обе эти характеристики весьма важны для эксплуатации винтовки, то мы опять повторяем, что вопрос смазки это достаточно трудная задача со многими переменными.

Почти все винтовки страдают от так называемого «звона пружины». Происходит этот звук от резкого распрямления витков пружины в ограниченном пространстве. В большинстве случаев это не имеет большого значения, но в некоторых ситуациях может быть жизненно важным. Например, в случае применения винтовки на охоте этот звук может спугнуть добычу и не дать произвести второй выстрел. Этот звук вполне можно уменьшить, если вставить пластиковую направляющую внутрь пружины или обернуть её пластиковой трубкой снаружи. Хотя можно несколько уменьшить этот звук и грамотной смазкой, которая будет гасить ненужные вибрации витков пружины. Правда, этот способ

следует использовать с осторожностью, поскольку он может привести к торможению поршня и падению общей энергетики винтовки.

Также весьма полезно, когда небольшая часть несгоревшей смазки перед поршнем выбрасывается в ствол и смазывает пулю, обеспечивая ей лучшее скольжение. Несколько хуже дело обстоит для компрессионных винтовок, поскольку у них внутри обычно весьма мало смазки, то ничтожное её количество, проходящее в ствол, может не рассматриваться как смазывание пули. Наши эксперименты показали, что в случае компрессионной винтовки наиболее оптимальным с точки зрения кучности и стабильности скорости является небольшое смазывание пулек перед их зарядкой в винтовку.

Многие годы люди считали, что мощность пружинно-поршневой винтовки меняется с температурой, однако, сами мы такого эффекта, как правило, не наблюдали. Можно предположить, что дело тут или в разном количестве смазки, которая попадает перед поршнем, (она может несколько разжижаться при повышении температуры и попадать её будет больше) или же в разных условиях воспламенения полученной смеси. Для проверки этого мы прикрепили несколько нагревательных элементов к цилиндру и провели серию экспериментов. В результате мы выяснили, что любое значительное изменение температуры приводит к изменению дульной скорости пружинно-поршневой винтовки, функционирующей как в фазе *popgun*, так и в фазе *combustion*. Однако, как только цилиндр нагревается до температуры, когда его уже нельзя касаться, винтовка переходит в фазу *detonation* и становится полностью неконтролируемой. Поскольку такая температура не может быть достигнута в обычных условиях, то дальнейшие опыты в этом направлении мы не проводили. Также мы пробовали охлаждать цилиндр, впрыскивая охладитель в специальную рубашку вокруг цилиндра. Дав воздуху в цилиндре охладиться, мы производили выстрел и в результате убедились, что скорость при этом практически не изменяется.

Хотя мы уже рассказали многое о смазке и её роли в нормальном функционировании пружинно-поршневой винтовки, нам всё же кажется, что данная конструкция является, условно говоря, нестабильной, и для её нормального функционирования требуется регулярное обслуживание. Конечно, это может быть и не совсем правдой, но вообще-то такое обслуживание занимает весьма небольшое время, гораздо меньше, чем кажется на первый взгляд. И, несмотря на то, что пружинно-поршневая винтовка является очень сложной и многопараметричной системой, и её достаточно сложно понять до конца, каждый год на рынке появляются всё новые и новые модели этого типа, что, несомненно, свидетельствует об успехе такой конструкции.

Глава 12. Эффективность.

Эффективность любого механизма определяется как соотношение между затрачиваемой энергией и получаемой работой. Как правило, такое соотношение выражается в процентах:

$$\frac{\text{Получаемая работа}}{\text{Затрачиваемая энергия}} \cdot 100\% = \text{Процент эффективности}$$

В данной книге для пружинно-поршневой винтовки мы считаем затрачиваемой энергией ту энергию, которая накапливается в сжатой пружине, а не энергию, необходимую для её взвода, таким образом, мы избегаем от оценки эффективности механизма взведения. Эффективность механизма взведения может быть темой отдельного исследования, поскольку разные производители используют разные конструкции для сжатия пружин, каждая из которых имеет свои плюсы и минусы.

Получаемую работу мы определяем как энергию вылетающей пули, когда она покидает ствол винтовки, она также называется дульной энергией и измеряется в футах-фунтах.

Теперь разберём пример для конкретной винтовки. Пусть энергия, запасённая в пружине, будет 20.4 Ft·lbs, тогда:

Энергия пружины	20.4 Ft·lbs	27.66 Дж
Скорость пули 14.5 гран (0.94 грамма)	430 FPS	131.15 м/с
Дульная энергия (см. рис.1.1)	5.9 Ft·lbs	8 Дж

Отсюда можем посчитать процент эффективности:

$$\text{Процент эффективности} = \frac{5.9}{20.4} \times 100\% = 29\%$$

Этот показатель не очень сильно различается у различных пружинно-поршневых винтовок и в среднем колеблется от 25% до 35%, причём различие возникает в основном при различных геометрических размерах винтовок.

Теперь мы попробуем выяснить, куда же девается большая часть энергии пружины, что пуле достаётся менее 30% от неё. **Рис. 12.1** показывает, как преобразуется потенциальная энергия сжатой пружины в кинетическую энергию вылетающей пули. Эта достаточно сложно выглядящая диаграмма, возможно, одна из важнейших в этой книге, поскольку описывает распределение энергии во всей системе в целом от момента нажатия на спусковой крючок и до прихода поршня в переднюю точку цилиндра.

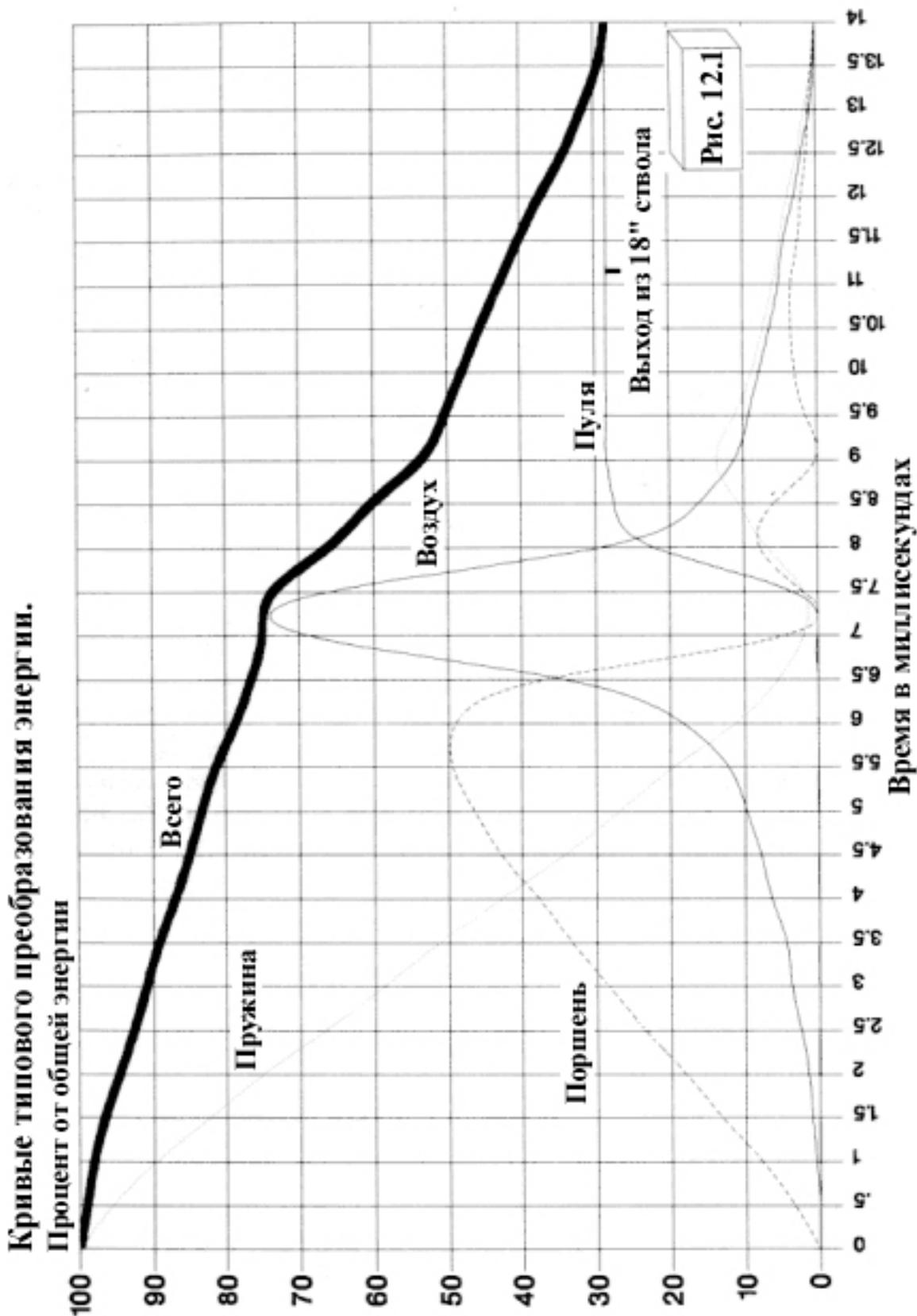
Каждая кривая на диаграмме показывает энергию соответствующей части винтовки, а толстая чёрная линия сверху показывает общее количество полезной энергии в данный момент. Вертикальная ось показывает энергию в процентах от энергии сжатой пружины, а горизонтальная ось соответствует времени в миллисекундах, начиная от момента нажатия на спуск, то есть начала движения поршня.

Пружина.

Пружина без сомнения является эффективной частью пружинно-поршневой винтовки, поскольку именно она накапливает энергию при взводе. С момента нажатия на спусковой крючок пружина начинает отдавать свою энергию поршню и делает это достаточно равномерно, поэтому её энергия убывает также равномерно и отображается в виде прямой линии из верхней части диаграммы, соответствующей 100% энергии, до

нижней части, весьма близкой к нулю. В этой точке поршень достигает максимального сжатия воздуха.

Однако, когда поршень отскакивает от подушки сжатого воздуха, пружина опять начинает набирать энергию и эта энергия будет потом просто потеряна. Проблема с минимизацией таких потерь уже обсуждалась в главе про поршень.



Небольшое количество энергии пружины также теряется и из-за трения её витков между собой, из-за трения между витками пружины и поршнем, между торцами пружины и поршнем и задником. Хотя в правильно смазанной винтовке эти потери ничтожны.

В главе про поршень мы уже отмечали, что при создании герметичного уплотнения между поршнем и стенками цилиндра, возникает заметное трение между поршнем и цилиндром. Это трение также является причиной потерь энергии, именно это трение является основной причиной потерь энергии на первых 7мс движения поршня, когда теряется примерно 3 Ft·lbs¹ энергии. Разумеется, эта составляющая может быть минимизирована при использовании соответствующей смазки.

Теперь обратимся к кривой, представляющей энергию поршня. Видно, что поршень достаточно равномерно набирает энергию на протяжении первых 6мс своего движения. Кривая воздуха под ним показывает, что поршень также достаточно равномерно передаёт энергию воздуху. Однако после первых 6мс движения поршень начинает достаточно быстро замедляться. Быстрое замедление поршня совпадает с не менее быстрым ростом давления перед ним. Этот тип сжатия называется адиабатическим, и он был рассмотрен в главе про воздух. В данной главе мы лишь напомним, что адиабатический процесс протекает без потерь тепла. Мы все понимаем, что при нагревании газ расширяется, а если возможности для расширения нет (газ нагревают в закрытой ёмкости), то соответственно поднимается давление. В нашем же случае два процесса протекают одновременно – повышается давление просто из-за сжатия воздуха поршнем, и ещё больше оно поднимается из-за нагрева сжимаемого воздуха. Эти два фактора вместе обуславливают достаточно резкое торможение поршня, что отображается на диаграмме резким спадом его энергии. В то же время воздух резко наращивает свою энергию, что отображается на диаграмме резким подъёмом соответствующей кривой.

Воздух.

Энергетика воздуха в пружинно-поршневой винтовке, пожалуй, одна из самых сложных вещей для изучения, поэтому начать надо, видимо, с общей теории газов. Воздух состоит из миллионов маленьких молекул, которые непрерывно двигаются, сталкиваясь между собой, в ограниченном пространстве сосуда, содержащего газ, то есть в нашем случае – цилиндра. Когда воздух сжимают, то же количество молекул оказывается заключённым в меньшем пространстве, поэтому возрастает количество столкновений молекул, как между собой, так и со стенками цилиндра. Когда воздух в цилиндре сжимается поршнем, то совершается работа над молекулами и их скорость увеличивается, соответственно, возрастает их кинетическая энергия, что приводит к росту температуры. Как уже было постулировано, сжатие происходит адиабатически, и потери тепла отсутствуют. Поэтому всё тепло уходит на поднятие температуры воздуха в процессе сжатия, а затем эта энергия передаётся расширяющимся воздухом пуле.

Однако, в силу некоторых свойств молекул требуется некоторое количество энергии, чтобы преодолевать силы взаимодействия между молекулами. Такая потеря энергии определяется как «не идеальность» воздуха, поскольку в идеальном газе такие потери отсутствуют, но, к сожалению, такого газа в природе не существует.

Каждый газ состоит из своих молекул, соответственно, имеет свои силы взаимодействия и свою собственную «не идеальность». Мы экспериментировали с разными типами газов, чтобы выяснить, какие из них более эффективны в пружинно-поршневых винтовках. Мы каждый раз взводили винтовку и заполняли цилиндр соответствующим газом при атмосферном давлении, после чего производили выстрел. Результаты такого эксперимента приведены в таблице ниже.

¹ Около 4 Дж.

Последнее число в каждом столбце показывает среднюю скорость для данного столбца.

Как видно из этой таблицы, воздух и азот являются наиболее эффективными газами для использования в пружинно-поршневых винтовках традиционной схемы¹, и это очень хорошо, поскольку обычно в них используется воздух!!! Кроме того, воздух на две трети состоит из азота.

	Воздух		СО ₂		Аргон		Бутан		Фреон 22		Азот		Городской Газ	
	FPS	м/с	FPS	м/с	FPS	м/с	FPS	м/с	FPS	м/с	FPS	м/с	FPS	м/с
	432	131.8	319	97.3	412	125.7	142	43.3	227	69.2	429	130.8	330	100.7
	424	129.3	304	92.7	415	126.6	57	17.4	193	58.9	420	128.1	348	106.1
	430	131.1	312	95.2	415	126.6	107	32.6	186	56.7	432	131.8	353	107.7
	420	128.1	324	98.9	422	128.7	112	34.1	153	46.7	434	132.4	345	105.2
	437	133.3	308	93.9	424	129.3	100	30.5	170	51.9	431	131.5	343	104.6
	433	132.1	324	98.9	413	126.0	106	32.3	169	51.5	432	131.8	345	105.2
	439	133.9	307	93.6	420	128.1	66	20.1	185	56.4	437	133.3	346	105.5
	439	133.9	313	95.5	418	127.5	101	30.8	148	45.1	441	134.5	350	106.8
	425	129.6	320	97.6	432	131.8	56	17.1	192	58.6	433	132.1	352	107.4
	431	131.5	318	97.0	418	127.5	103	31.4	166	50.6	438	133.6	352	107.4
Ср.	431	131.5	315	96.1	419	127.8	95	29.0	175	53.4	433	132.1	346	105.5

Вполне понятно, что точно посчитать эффективность пружинно-поршневой винтовки можно только в том случае, когда она функционирует в фазе *blowpipe* или *popgun*. В любой другой фазе в затрачиваемую энергию добавляется химическая энергия сгорающей смазки, а количество этой энергии определить практически невозможно, хотя получаемую работу по-прежнему несложно посчитать, зная скорость вылета пули и её вес. А вот затрачиваемая энергия в фазе *combustion* или *detonation* складывается уже из двух составляющих – энергии пружины и энергии сгорающей смазки, которая в некоторых случаях может быть даже больше, чем энергия пружины.

Вообще-то по нашему мнению, пружинно-поршневая винтовка представляет собой крайне интересную конструкцию и потому обычно она создаётся путём эволюции, доработки, а не сразу с «чистого листа». Было бы весьма удивительно, если бы некто смог просто сесть и сконструировать пружинно-поршневую винтовку необычной конструкции, которая затем приобрела бы более-менее заметный успех. Хотя и полностью отвергать такую вероятность нельзя, тем более что каждый год на рынке появляются всё новые и новые модели пружинно-поршневой пневматики.

Что же касается улучшения эффективности пружинно-поршневой винтовки, то данная тема будет рассмотрена в следующем параграфе, который называется «Тюнинг». Тюнинг это и есть искусство улучшать эффективность, не прибегая к экстенсивным модификациям.

¹ Судя по всему, речь идёт о винтовках, работающих в фазе *popgun*, поскольку в случае с фазой *combustion* результат с азотом должен был бы быть сильно ниже (см. главу 2, эксперимент с азотом).

Глава 13.

Тюнинг пружинно-поршневых винтовок.

Настройка и регулировка пружинно-поршневой винтовки частично является наукой, частично искусством, хотя в большей степени, наверное, всё же искусством. Научная часть в основном заключается в конструкции винтовки, которую достаточно трудно изменить. До этой главы мы излагали научную точку зрения, а теперь перейдём к искусству.

Первый вопрос, который обычно возникает, «*Что такое тюнинг?*». Ответить на этот вопрос не очень просто, разные люди имеют разное мнение на этот счёт, но можно попытаться дать описательное определение: «*настройка характеристики и компонент винтовки под требования пользователя*». Некоторые владельцы хотят получить максимальную мощность, невзирая на то, что при этом падает точность и повышается отдача, другие наоборот хотят большей точности, пусть и за счёт падения мощности и так далее, возможны любые промежуточные варианты. В любом случае стоит помнить, что весьма редко удаётся получить выигрыш в одном направлении без потерь в другом. Как достигать компромисса между противоречивыми требованиями – изложить в книге невозможно, поскольку это уже искусство. Другой частый вопрос, возникающий у пользователей, «*Если оно не сломано, то зачем его переделывать?*». Ответ на этот вопрос можно дать примерно так: «*Иногда даже небольшое изменение может привести к весьма заметным улучшениям характеристик*». Это утверждение является основой всего тюнинга, это то, ради чего люди тратят многие часы, иногда кардинально меняя конструкцию своих винтовок, чтобы в итоге добиться идеальной плавности и мягкости работы механизма, минимизации шума и отдачи.

Параметры, которые стоит рассматривать в процессе тюнинга, можно определить следующим образом: стабильная мощность, точность, взаимосогласованность и живучесть. Таким образом, мы имеем четыре независимых и отдельных друг от друга параметра, которые, тем не менее, неразрывно связаны с качеством винтовки как целой системы. Возможно, живучесть является основным параметром, поскольку фактически она суммирует в себе три предыдущих фактора. Это наиболее обидно для владельца, когда тюнингованная винтовка всего лишь через пару месяцев начинает возвращаться к своим стандартным характеристикам. Нередко в таком неприятном явлении обвинят неподходящую смазку.

Как правило, тюнинг проводится над массово производимыми винтовками, поскольку такие винтовки являются компромиссом между требованиями рынка и ценой. К тому же, если, например, отполировать ствол или цилиндр можно и при массовом производстве, то вот, например, приклад будет весьма усреднённых размеров и может быть неудобен отдельным пользователям. В таком случае, если пользователя устраивают остальные параметры винтовки, то он будет заниматься доводкой приклада, переделывая его форму под более удобную именно для этого конкретного человека.

Вполне очевидно, что при поточном производстве для производителя совершенно невыгодно заниматься доводкой до ума каждой винтовки. В нашей стране производитель больше озабочен тем, чтобы его продукция не перекрывала официальный лимит энергии и потому большая часть из массово производимых винтовок работает далеко не на пределе своих возможностей.

Многие айрганеры, особенно те, кто занимается отстрелом вредителей, заинтересованы в максимальной мощности своих винтовок, при этом они согласны на небольшую потерю кучности, ибо им нет нужды класть пулю в пулю как спортсменам. Эта потребность в максимальной мощности даёт толчок к дальнейшему развитию технологий, подобно тому, как по необходимости были созданы лук и стрелы и изобретено колесо. Хотя такая погоня за мощностью имеет и свои ограничения, в

частности, мощность компрессионной пневматики ограничивается энергией закачиваемого в неё воздуха. Другое дело пружинно-поршневая пневматика, которая, работая в фазе *combustion*, в некотором смысле уподобляется огнестрельному оружию, чья мощность ограничивается лишь запасом химической энергии вещества. Из этого вовсе не следует, что когда-нибудь пневматическое оружие уступит свои позиции малокалиберному огнестрельному оружию, хотя и исключать такую возможность нельзя, но в ближайшем будущем пружинно-поршневые винтовки будут успешно удерживать свои позиции, благодаря энергии, запасаемой в пружине, и энергии от сгорающей смазки.

В каждом из предыдущих глав описывался лишь один какой-либо компонент пружинно-поршневой винтовки, и описывалось его влияние на функционирование всей винтовки в целом. Когда же мы попытаемся собрать все эти различные переменные параметры вместе, то у нас получится огромное поле для выбора и найти правильный ответ будет не проще, чем выиграть в лотерею. Кроме того, даже незначительное изменение параметров одного компонента может вызвать значительные изменения в работе других компонент, что в итоге может привести к полностью нестабильной конструкции, когда скорость будет меняться как угодно. Чаще всего причиной нестабильности скорости бывает неправильная смазка манжеты поршня, которая в избыточном количестве скапливается перед поршнем и приводит к совершенно нестабильным результатам.

Тюнинг пружинно-поршневой винтовки в чём-то схож с предсказанием погоды: все признаки указывают на наличие ясной погоды, однако где-то далеко немного изменилась температура, из-за этого сменилось направление ветра, в итоге меняется вся картинка погоды и вместо ясного дня приходит дождь. Здесь мы имеем классический пример хаоса. Изучение хаоса является весьма новой наукой и требует очень больших вычислительных мощностей, чтобы учесть все возможные изменения большого количества переменных. Незначительное изменение одного параметра в пружинно-поршневой винтовке может внезапно привести к весьма большим изменениям в выдаваемой мощности, совсем как в лотерее.

Как правило, основой для тюнинга служит опыт, притом не только опыт в использовании пневматического оружия, но и глубокие познания в принципах его работы. Необходимо знать сильные и слабые стороны конкретной модели, представлять себе какие изменения надо внести и почему именно такие. Как правило, необходимой компонентой в тюнинге является хронограф, без которого процесс тюнинга превращается в блуждание в темноте. Также надо быть готовым к тому, что придётся использовать более слабую пружину, это трудно понять, особенно если целью является повышение скорости, но иногда именно такой странный шаг приносит успех.

Для подтверждения наших слов мы приведем небольшую табличку, в которой пытаемся найти наиболее оптимальные параметры для конкретной винтовки.

Затрачиваемая энергия		Выдаваемая работа (пуля 14 гран или 0.91г)		Процент эффективности	Выдаваемая работа (пуля 12 гран или 0.78г)		Процент эффективности
Ft·lbs	Дж	Ft·lbs	Дж		Ft·lbs	Дж	
38,65	52.40	5,85	7.93	15,2	5,25	7.12	13,6
36,79	49.88	6,13	8.31	16,6	4,84	6.56	13,0
33,03	44.78	6,24	8.46	18,9	5,50	7.46	16,6
24,74	33.54	6,75	9.15	27,3	5,84	7.92	23,6
20,91	28.35	6,58	8.92	31,5	5,44	7.38	26,0
18,17	24.63	5,72	7.75	31,5	5,50	7.46	30,3
14,17	19.21	3,47	4.70	24,5	4,33	5.87	30,5

В данном эксперименте использовалась одна и та же пружина, просто от неё отрезались «лишние» витки. Для определения точной скорости при каждом из показателей затрачиваемой энергии производилось, как минимум, пять выстрелов.

Никогда не следует расстраиваться из-за неудач, поскольку на пути к успеху их обычно бывает немало. Неудача показывает, что вы находитесь на неправильном пути, или же, возможно, слишком далеко ушли, хотя и в правильном направлении. Например, диаметр перепускного отверстия часто кажется маленьким, и его пытаются увеличить. Однако, как только небольшое увеличение приводит к росту скорости, возникает желание рассверлить его ещё больше, чтобы получить ещё большую скорость, но в результате скорость только падает. Отсюда можно сделать следующие выводы: исходный диаметр перепускного отверстия был близок к оптимальному размеру для данной винтовки, но что хуже – рассверленное отверстие придётся как-то заделывать до предыдущего диаметра, чтобы вернуть винтовке нормальную скорость. Этот пример наглядно показывает, что перед тем как начинать какие-либо серьёзные изменения в своей винтовке, стоит задуматься над возможностью её возвращения в исходное состояние или же примириться с возможностью списания её в утиль, в случае если попытка окажется неудачной.

Когда приступаешь к тюнингу, или любому другому изменению винтовки, весьма полезно делать краткие заметки или наброски того, что сделано, а также достигнутых результатов в виде скоростей пуль, с указанием их веса, и, опционально, кучности, возможно, в виде отстрелянных мишеней. Такие данные могут весьма помочь впоследствии, не только при работе с этой же винтовкой, но и при сравнении с результатами тюнинга других винтовок.

Для того чтобы реально получить предполагаемые улучшения, обычно требуется громадная настойчивость. Это зачастую является причиной того, что пружинно-поршневые винтовки работают далеко не в полную свою мощность, а определение причин этого и проведение соответствующих изменений требует немалого опыта и внимания. Опыт (то, что нам весьма тяжело достаётся) приходит лишь во время работы с «проблемными» винтовками, поскольку решение несложных проблем даёт достаточно мало опыта. Внимательный анализ причин неудач зачастую более полезен, чем достижение успеха, поскольку при достижении успеха сразу не будет проводиться должного изучения проблемы и возможных методов её решения. Ещё во времена большой популярности паровозов бытовало интересное высказывание о них *«Плохой двигатель воспитывает хорошего кочегара»*. Нечто подобное можно сказать и про доводку пневматического оружия.

Было бы наивно ожидать от тюнинга слишком многого, например, купив себе дешёвую и маломощную винтовку довести её характеристики до более дорогой и серьёзной винтовки практически нереально. Поэтому стоит для начала внимательно изучить характеристики доступных винтовок, затем приобрести ту, что наиболее близка к вашим требованиям без какого-либо тюнинга. Как мы уже говорили, тюнинг стоит проводить только опытному человеку, который сможет его сделать корректно.

Никогда не приступайте к серьёзному тюнингу «от нечего делать», например, когда на дворе воскресенье и пойти некуда, поскольку идёт дождь. Чаще всего в таком случае утро понедельника принесёт лишь разочарование и поломанную винтовку. Перед тем как приступать к серьёзным переделкам, надо соответствующим образом подготовиться – чётко продумать, что необходимо сделать, запастись необходимым инструментом, комплектующими и так далее. Поскольку винтовка обычно стоит достаточно дорого, то надо с большой осторожностью подходить к любым операциям над ней, как в хирургии, зачастую у вас будет только одна попытка и поэтому надо быть уверенным, что есть всё необходимое, чтобы добиться нужного результата с первого раза.

Без сомнения, серьёзная подготовка к тюнингу может занять не один час, поэтому не стоит разочаровываться, если работу не удалось провести в один день.

В главах про манжету поршня и цилиндр мы уже упоминали, что поверхности обычно неровные и имеют выступы и впадины, оставленные обрабатывающим инструментом, которые способствуют сохранению смазки. Но тут возникает другая проблема – поверхность получается напоминающей наждачную бумагу, а, как известно, два листа наждачной бумаги очень плохо скользят друг по другу. Проблема в том, что выступы одной поверхности цепляются за впадины другой и тормозят движение. Идеальным был бы вариант, когда выступы одной поверхности двигались бы строго вдоль впадин другой, в таком случае сопротивление движению было бы минимальным. Поэтому такая ситуация была бы оптимальной для любой винтовки, но, к сожалению, её достаточно трудно обеспечить при машинной обработке деталей.

Как известно, обычно машинная обработка поверхностей в пружинно-поршневой винтовке оставляет их чуть ли не в худшем виде с точки зрения мягкого скольжения этих поверхностей друг относительно друга. Например, и поршень и цилиндр обычно полируются с помощью вращения, когда или вращается деталь, или же сам инструмент. В итоге образуются небольшие впадины, проходящие поперёк деталей, а не вдоль них, как бы этого хотелось. Точно также и детали спускового механизма часто полируются таким образом, что образуются поперечные царапины.

В случае, когда в цилиндре перемещается пластиковая манжета, небольшие царапины на цилиндре только на пользу и их не стоит полировать. Также вполне очевидно, что следы машинной обработки на поршне, особенно на его задней части стоит аккуратно убрать, чтобы обеспечить более комфортный взвод винтовки. И, наконец, окончательная полировка деталей матёрчатым полировочным кругом должна в итоге обеспечить весьма мягкое их скольжение друг относительно друга.

Что же касается спускового механизма, то здесь к процессу доработки надо подходить с осторожностью, чтобы не загубить его совсем – иначе винтовка может обеспечить самопроизвольное срабатывание при неудачной доработке, и в результате может потребоваться полная замена спускового механизма. В любом случае, итоговая цель обработки – хорошо отполированная поверхность, с возможными небольшими царапинами вдоль направления движения деталей.

Полировка металлов может производиться до разной степени. В частности, даже идеальная на первый взгляд поверхность, гладкая как стекло, на деле имеет свои дефекты, хотя обеспечить более высокое качество полировки возможно, но весьма трудоёмко. Также следует помнить, что проверку гладкости поверхности в бытовых условиях лучше всего проводить с помощью ногтя, проводя им поперёк полируемой поверхности. Дело в том, что ноготь оказывается гораздо более чувствителен к неровностям, чем подушечка пальца, и потому легко определяет даже незначительные дефекты.

Пожалуй, одна из самых неудобных для контроля поверхностей, это внутренняя поверхность цилиндра. Тем не менее, с помощью куска зеркала или даже используя соответствующий инструмент из арсенала стоматологов, можно засунув его внутрь цилиндра отразить свет на эту поверхность и визуально убедиться в наличии или отсутствии дефектов.

Очевидно, что перед тем, как приступать к тюнингу, стоит для начала замерить текущие характеристики винтовки, в частности, замерить скорость пули с помощью хронографа, особенно если целью тюнинга является изменение мощности винтовки. После того, как модернизация будет проведена, необходимо снова провести замер скорости теми же пулями, с целью установить изменение мощности, и хотелось бы верить, что в нужном направлении. Предположим, что мы заменили манжету поршня или пружину, или изменили форму перепускного отверстия в надежде получить большую

скорость; в случае успеха показания хронографа после такой операции должны увеличиться, соответственно, можно будет праздновать первую победу.

К сожалению, такой видимый успех не всегда соответствует истине и иногда может обернуться ловушкой для излишне доверчивых людей. Дело в том, что при проведении почти любого тюнинга винтовку приходится разбирать и собирать, как правило, заменяя попутно смазку. Это и есть основа для возможной ловушки – скорость может возрасти только из-за замены смазки, в которой ещё не выгорели активные компоненты. А после определённого количества выстрелов активные компоненты смазки снова выгорят, и показатели винтовки вернуться к норме.

В ходе наших экспериментов мы потратили очень много сил, чтобы избежать подобной ловушки. Мы старались по возможности не вынимать поршень из цилиндра, чтобы не нарушать условия смазки, поскольку в противном случае результаты эксперимента становились бы достаточно бессмысленными. Кроме того, в ходе каждого эксперимента мы старались изменять только какой-то один параметр и в том случае, когда этим параметром была не смазка, требовались немалые усилия, чтобы сохранить условия состояния смазки в том же виде, что и до изменения этого параметра.

Много раз в ходе наших экспериментов нам требовалось знать, просачивается ли воздух через поршень или через стык казённика. Для ответа на этот вопрос нам требовался простой и эффективный метод герметизации казённика. В таком случае мы опять использовали «спутник», который мы уже описывали в главе 6. При его использовании поршень останавливался, не доходя до дна цилиндра, и затем медленно добирался до конца, по мере протекания воздуха. Определить же был источником утечки стык казённика и цилиндра или всё манжета поршня, можно с помощью нанесения ан казённик любого аэрозоля или крема для бритья.

Также стоит сказать и несколько слов об уплотнении казённика, с которым мы столкнулись ещё когда уплотнения делались из кожи. Мы выяснили, что без надлежащей смазки кожаное уплотнение высыхает, сжимается и начинает пропускать воздух, однако при надлежащей смазке оно ничуть не уступает современным кольцевым уплотнениям.

Ещё одна область, где весьма существенно время – это, так называемый, «Lock-Time». Это очень короткий промежуток времени между нажатием спускового крючка и вылетом пули из ствола. Вообще-то в оригинале этот термин использовался в огнестрельном оружии и относился к промежутку времени между нажатием на спуск и накалыванием ударником капсюля патрона, то есть ещё более короткое время, чем у нас, а мы просто позаимствовали этот термин. Вполне очевидно, что чем меньше этот промежуток времени, тем лучше, поскольку уменьшается вероятность влияния на пулю любых вибраций, возникающих в винтовке после нажатия на спусковой крючок.

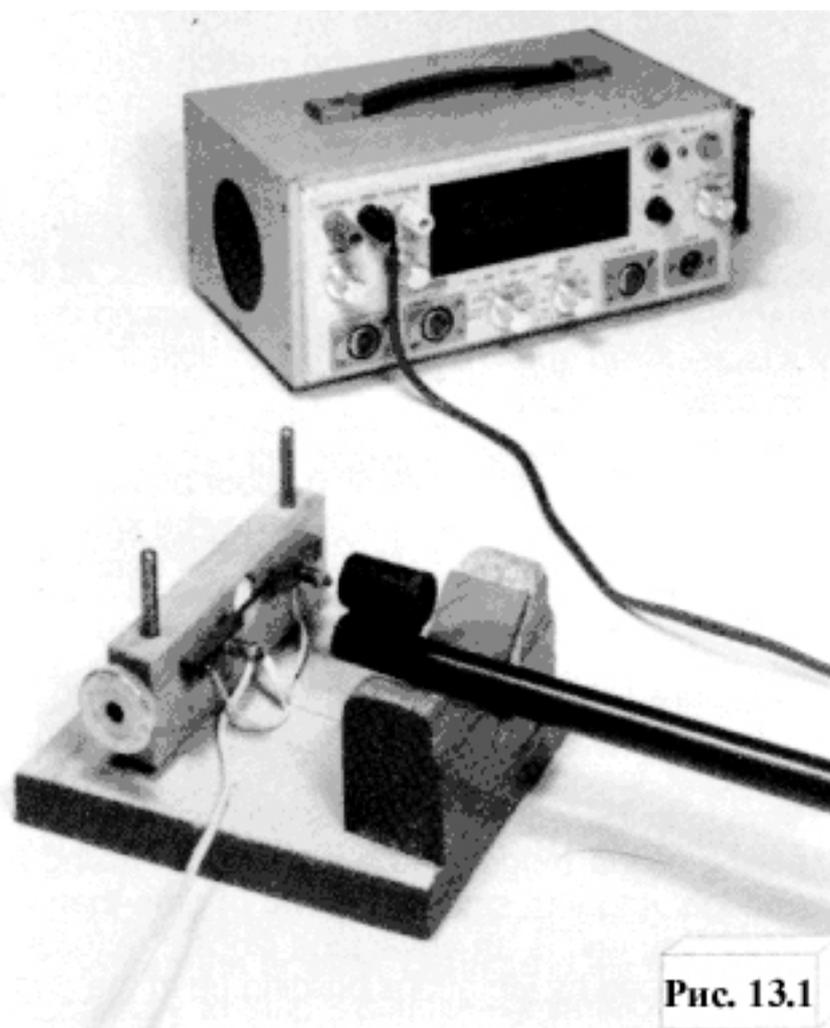
«Lock-Time» измеряется в миллисекундах, то есть тысячных долях секунды, и его длительность зависит от множества разных факторов, в частности от длины ствола. Тем не менее, в целом компрессионная пневматика имеет «Lock-Time» меньше, чем пневматика с газовой пружиной, у которой «Lock-Time» в свою очередь меньше чем у пружинно-поршневой пневматики. Отсюда вполне очевидно, что наименьшим «Lock-Time» обладает компрессионный пистолет. Типовые значения для «Lock-Time» примерно таковы: 8.6мс для компрессионной винтовки, 10.5мс для винтовки с газовой пружиной, 13мс для пружинно-поршневой винтовки и 3.8мс для компрессионного пистолета.

Оборудование, необходимое для измерения «Lock-Time» показано на **рис. 13.1**. Хронометр начинает свою работу в момент нажатия на спусковой крючок и отключается при попадании пули в контакт напротив дульного среза. На фотографии мы специально отодвинули дуло от контактов, чтобы показать всю конструкцию.

Для изменения «Lock-Time» существует не так уж много способов. В частности, более жёсткая пружина может уменьшить «Lock-Time» и заодно увеличить скорость

вылета пули, тем не менее, отрицательные эффекты от установки более мощной пружины (такие как возросшая вибрация и отдача) могут перевесить плюсы от уменьшения «Lock-Time». Вполне очевидно, что любое повышение скорости вылета пули неизбежно приводит к уменьшению «Lock-Time».

Кроме стандартных процедур полировки и доводки существуют и другие формы тюнинга, обычно называемые «*customisation*». Этой области принадлежат многие модификации винтовок, например, обрезание ствола или установка совершенно новых деталей внутрь винтовки. По всей вероятности, штатный приклад при проведении кастомизации также будет заменён на другой, более подходящий для конкретного пользователя приклад. Такой доводкой нередко занимаются специализированные фирмы, например, «*Venom Arms of Halsowen*».



Также стоит помнить, что когда Mr. Wesley в своей книге «*Air-Guns and Air-Pistols*» отмечал, что некоторые из винтовок и пистолетов весьма мощны, он сравнивал их с другими экземплярами, представленными тогда на рынке, а не измерял абсолютную мощность и тем более, не мог сравнить их с образцами сегодняшнего дня. Поэтому не всегда стоит доверять рассказам о большой мощности старых винтовок или пистолетов, помня принцип что «раньше и небо было голубее и сахар слаще».

В любом случае, будь результат тюнинга успешным или неудачным, он всегда остаётся вызовом, в чём и заключается его прелесть. По существу это почти как головоломка – лабиринт, не имеющий ни начала, ни конца.

Глава 14.

Винтовки на сжатом воздухе.

Судя по всему, пружинно-поршневые винтовки появились раньше, чем винтовки на сжатом воздухе¹, хотя и реальное возвращение популярности к ним произошло лишь в конце XIX века, да и то они были способны лишь метать дротики или пульки с весьма невысокой скоростью. Вероятно, относительно слабое развитие металлообработки приводило к тому, что изготовить идеально подходящие друг к другу детали было достаточно проблематично, а хорошую пружину вообще практически невозможно.

Что же касается винтовок на сжатом воздухе, то их изготовление несколько проще, хотя всё равно сложнее и дороже, чем изготовление огнестрельного оружия. Тем не менее, они в своё время имели некоторые преимущества перед первыми образцами огнестрельного оружия, например, не было проблем с надёжным воспламенением пороха, не было проблем с намокшим порохом в случае плохой погоды и так далее.

В большинстве случаев первые модели винтовок на сжатом воздухе базировались на идее съёмного резервуара, который накачивался отдельным насосом. Резервуар обычно изготовлялся или в виде цилиндра или в виде шара, и обычно крепился к нижней части винтовки. Эти первые винтовки на сжатом воздухе, чей калибр составлял около половины дюйма², были неплохим оружием для своего времени и потому их конструкция уже достаточно хорошо изучена, и мы не будем тратить своё время, чтобы что-либо добавить к уже существующим описаниям. Разве что стоит упомянуть, что мощность таких винтовок была вполне сравнима с огнестрельным оружием, несмотря на то, что они работали на давлении всего лишь около 600 PSI, в то время как современные винтовки такого типа работают на давлениях около 3000 PSI³. Также первые винтовки были многозарядными, то есть они могли выдать несколько выстрелов с одной накачки. Разумеется, мощность выстрела падала по мере падения давления в резервуаре, но в умелых руках это не было проблемой при использовании. Мы также много спорили о том, что если бы в этих винтовках использовались уплотнения в виде O-образных колец, как на современных винтовках, то, возможно, это оружие сыграло бы большую роль в мировой истории. В реальности же наличие утечек на местах различных соединений было серьёзным барьером на пути дальнейшего развития этого оружия и его популяризации.

Первые попытки создать винтовку со встроенным насосом (то есть мультикомпрессионную) успехом не увенчались, поскольку обычно насос был сконструирован в виде поршня и направляющей, как современный велосипедный насос. Таким насосом практически невозможно получить высокое давление, тем более за разумное количество качков. Такая ситуация продолжалась до тех пор, пока американская компания *Sheridan* не предложила рычажную конструкцию насоса. Такая конструкция получила название «мульти-компрессионной» и сейчас является весьма популярной, и несколько фирм, как в Америке, так и в Японии, производят такие винтовки. Подробнее мы будем разбирать конструкцию таких винтовок в следующей главе, а пока укажем, что популярность такой схемы снизилась после появления на рынке РСР⁴, поскольку последние не требовали приложения усилий перед каждым выстрелом. Кроме того, мультикомпрессионные винтовки обычно способны произвести только один выстрел после накачки, или же два, но с большим разбросом скоростей.

¹ Вообще-то в оригинале такой тип оружия так и называется «pneumatic», на русском же ему вполне соответствуют сразу несколько вариантов – компрессионный, мульти-компрессионный, с воздушным патроном и РСР, поэтому приходится употреблять в общем случае такой немного неудобный термин.

² Около 12.7мм.

³ Соответственно 40.8 атм. и 204 атм. То есть у первых давление даже ниже, чем в СО₂ пневматике.

⁴ РСР - pre-charged pneumatic, винтовка с предварительной накачкой резервуара.

Среди множества мультикомпрессионных винтовок существуют также и просто компрессионные, отличающиеся тем, что для накачки используется однократное движение рукояти насоса¹. Нередко такие конструкции не имеют даже накопителя для сжатого воздуха, который в итоге просто находится между поршнем, сжимающим воздух, и выпускным клапаном.

Наиболее часто компрессионные винтовки и пистолеты встречаются в спорте, где стабильность и кучность являются первостепенными требованиями, а высокая скорость не критична. Были попытки использовать такую схему и для мощных винтовок, но успеха достичь не удалось, поскольку слишком большое давление возникало перед поршнем в конце взвода.

Что же касается РСР, то их популярность резко возросла за последние десять лет², притом параллельно с ростом популярности дайвинга. Клубы дайвинга, а также специализированные компании и магазины товаров для него же появились в большинстве крупных городов, и в каждом есть оборудование для накачки воздуха высокого давления³. Таким образом, появилась возможность покупать и набивать резервуары высокого давления по вполне разумной цене. После этого требуется всего лишь подсоединить этот резервуар к своей винтовке через соответствующий переходник и заправить её сжатым воздухом. Очевидно, что к воздуху высокого давления стоит относиться с предельным вниманием. Все переходники, резервуары и соединения должны быть в очень хорошем состоянии. И последнее предупреждение: *никогда, ни при каких обстоятельствах не заправляйте винтовку кислородом!* Дело в том, что кислород под давлением образует взрывоопасную смесь с маслом, которое всегда есть в винтовке, в итоге попытка заправить винтовку кислородом почти наверняка приведёт к взрыву, который может не только безвозвратно испортить винтовку, но и убить или покалечить окружающих.

В 1872 году Giffard получил патент на изобретённый им воздушный патрон, который наполняется воздухом или углекислым газом. Каждый патрон, по сути, представлял собой небольшой резервуар с клапаном и местом для пули. Однако, в то время эта идея так и не получила широкого распространения, скорее всего, из-за трудностей с производством и достижением высокой точности и стабильности.

В наше время эта идея переживает второе рождение – несколько лет назад появились несколько конструкций на воздушном патроне, которые имели неплохой успех. Воздушные патроны накачиваются по одному специальным насосом или заправляются по шесть зараз от резервуара высокого давления через специальный переходник. Что касается насоса, то его конструкция крайне напоминает конструкцию мультикомпрессионной винтовки и потому позволяет достигать давлений около 3000 PSI⁴. Идея воздушного патрона широко используется в револьверах и в магазинных винтовках с болтовым затвором, хотя, по сути, конструкция ничем не будет отличаться и для однозарядных винтовок или пистолетов.

Чаще всего в винтовках на сжатом воздухе резервуар с ним располагается прямо под стволом, это наиболее простая и логичная компоновка. Она позволяет обеспечить продольное движение рукояти насоса, позволяет расположить спусковой механизм между резервуаром и стволом. Кроме того, при выстреле воздух из накопителя через относительно короткий перепуск попадает в ствол непосредственно позади пули.

¹ Опять некоторые расхождения в терминах: в английском мультикомпрессионные конструкции именуется как «ramp-up», а компрессионные являются их подмножеством и именуется «single-stroke pneumatic».

² Учитывая время написания книги – это период 1985-1995гг.

³ В России кроме клубов дайвинга для закачки воздуха высокого давления пользуются услугами пожарных – у них аппараты для дыхания также на сжатом воздухе работают.

⁴ Примерно 204 атм.

Винтовки на сжатом воздухе наилучшим образом работают в фазе *blowpipe*. Хотя мы и вводили определение этой фазы для пружинно-поршневых винтовок, тем не менее, её описание отлично подходит и для данного случая. Пуля покоится в казённом до тех пор, пока поток воздуха не начинает толкать её по стволу, при этом энергия воздуха не тратится ни на какие помехи, кроме небольшого сопротивления пули, проталкиваемой через ствол. Начальное же усилие посадки пули в казённом должно быть ничтожным, поскольку пользы от него в данном случае никакой, а вот стабильность пострадает наверняка, поскольку разные пули будут обеспечивать разное усилие срабатывания с места.

Использование болтового затвора обеспечивает не только хорошую герметизацию казённой части ствола, но и позволяет продвигать пулю через перепускное отверстие в нарезы. Именно по этой причине болтовой затвор всегда имеет достаточно острый конец, чтобы правильно установить пулю в стволе. Поскольку закрывание затвора обеспечивает установку пули на нарезы, то это экономит энергию сжатого воздуха, которому уже не нужно обжимать пулю для того, чтобы вогнать её в нарезы. Энергия же, расходуемая на трение пули в стволе, может быть рассмотрена отдельно разве что в случае, если пуля имеет форму, при которой площадь соприкосновения со стенками ствола достаточна велика. В противном случае эта энергия, как правило, пренебрежимо мала. Поскольку винтовки на сжатом воздухе демонстрируют большую эффективность при использовании тяжёлых пуль, то использование болтового затвора для правильной установки пули в стволе становится практически обязательным.

Что же касается смазки РСР винтовок, то к ней надо подходить с осторожностью, и для начала внимательно прочитать инструкцию от производителя, чтобы неправильной смазкой не нарушить работоспособность всей конструкции, и не испортить уплотнения. То же самое касается и мультикомпрессионных винтовок, где смазку тоже надо наносить с умом – например, на шарниры рычага стоит нанести достаточно густую смазку, поскольку жидкая смазка быстро вытечет, обязательно надо смазывать тягу поршня, поскольку иначе она будет цепляться за стенки цилиндра, и так далее.

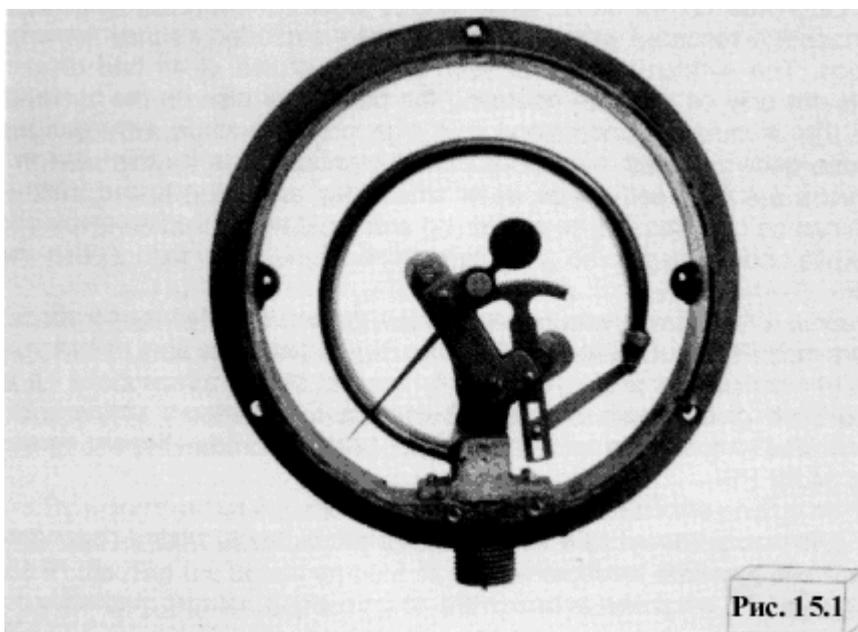
И, наконец, повторим про смазку ствола то, что уже рассказывалось в предыдущих главах. В случае винтовок на сжатом воздухе для смазки ствола лучше всего использовать тонкий слой смазки на пулях, поскольку лишь ничтожное количество смазки будет приноситься воздухом при выстреле, если и будет вообще.

Глава 15.

Накачка винтовок на сжатом воздухе.

Перед тем как разбирать вопрос о контроле над использованием воздуха в винтовках на сжатом воздухе, а также изучать, как воздух толкает пулю через ствол, мы решили разобраться с вопросом сжатия воздуха. Нас интересовало соотношение между потенциальной энергией сжатого воздуха и энергией, затраченной на его сжатие.

Вполне очевидно, что для работы со сжатым воздухом нужен достаточно точный манометр, также как при работе с любой пневматикой необходим хронограф, а без этих приборов эксперименты будут практически бессмысленными, поскольку всё будет строиться на ощущениях и воображении. В настоящее время практически каждый знает, что такое давление воздуха, в чём оно измеряется и как. Хотя сам манометр был изобретён относительно недавно, в 1850 году французом по имени Eugene Bourdon. Этот прибор позволил снять многие сомнения и опасения, как в производстве пневматического оружия, так и в производстве и эксплуатации паровозов, пароходов и прочих механизмов, работающих с газами под давлением.



Манометр, который можно видеть на **рис. 15.1**, по сути, является точно таким же, как и изобретённый французом прибор. Немного различается дизайн, но принцип абсолютно тот же самый. Принцип заключается в использовании овальной трубки, запаянной с одного конца и изогнутой в виде полукруга так, чтобы она пыталась выпрямиться при подаче внутрь давления. Разумеется, и до 1850 года существовали способы измерения давления, например, с помощью уравнивания давления навешиванием грузов на поршень известного диаметра. Однако такой способ был не слишком удобен, а главное, требовал много времени на каждое измерение.

В наше время такой способ также иногда используется, например, когда производится накачка некоего резервуара с помощью поршневого насоса, при условии что по каким-то причинам (например, дешевизне всей конструкции) установка нормального манометра не оправдана. В этом случае достаточно измерить усилие на рукояти насоса, а далее, зная размер поршня, нетрудно вычислить давление, которое создалось перед поршнем.

В те времена ещё достаточно мало знали про усталость металла, поэтому не такой уж редкостью были взрывы при накачивании резервуаров. Естественно, мгновенное

высвобождение относительно большого объема воздуха, как правило, приводило к катастрофическим результатам, как для накачивающего, так и для тех, кто просто был рядом. Поэтому всегда необходимо помнить о потенциальной опасности сжатого воздуха, который, будучи освобожденным, расширяется взрывообразно. Именно по этой причине резервуары высокого давления перед эксплуатацией обязательно проверяются на прочность с помощью масла или воды, поскольку обе эти жидкости практически несжимаемы и разрыв резервуара, содержащего воду под большим давлением, не приведет к катастрофическим разрушениям вокруг, разве что к небольшому беспорядку.

Хотя до недавнего времени при измерении давления использовался термин «фунты на квадратный дюйм», то есть PSI¹, в настоящее время всё большее распространение получает единица измерения «бар». Бар соответствует нормальному атмосферному давлению на земную поверхность и, поскольку давление может варьироваться в зависимости от разных условий, общепринято соотношение:

$$1 \text{ бар} = 14.22 \text{ PSI}^2$$

Энергию, содержащуюся в сжатом воздухе, нетрудно посчитать, зная его объем и давление.

$$E = \frac{P_1 \cdot V_1 \cdot \text{Log}_e(V_2/V_1)}{12} \text{ Ft}\cdot\text{lbs}^3$$

P_1 – начальное давление, то есть атмосферное, 14.4 PSI.

V_1 – начальный объем, то есть объем воздуха, сжимаемого в резервуаре.

V_2 – конечный объем, то есть объем уже сжатого воздуха.

Log_e – натуральный логарифм, то есть логарифм по основанию e.

В указанном уравнении проблема возникает лишь с вычислением начального объема воздуха, сжимаемого в резервуаре, но об его измерении позже, а пока просто отметим, что конечный объем может быть получен путём прямого измерения.

Зато мы можем вернуться к главе 7 и вспомнить ещё одно полезное уравнение:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Отсюда получаем:

$$V_1 = \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1}$$

Предположим, у нас есть резервуар объемом 0.17 кубических дюймов под давлением 1300 PSI. Для начала надо найти объем V_1 . Из указанного выше уравнения несложно получить, что он равен **15.35** кубических дюймов⁴.

После этого посчитаем энергию, запасённую в таком объеме воздуха указанного давления. Из уравнения выше получим ответ, что энергия сжатого воздуха будет **83** Ft·lbs⁵. Тем не менее, энергия, которая потребуется для сжатия этого объема воздуха до указанного давления, будет больше этого показателя, и будет зависеть от скорости сжатия. Если сжимать воздух быстро, то энергии придётся потратить больше и резервуар нагреется сильнее, чем при медленном сжатии.

Наиболее наглядно это демонстрируется на примере мультикомпрессионной винтовки. Если её зарядить, накачать и произвести выстрел сразу же, то скорость

¹ PSI – Pounds per Square Inch

² Как это ни странно, но для перевода PSI в атмосферы я нашёл немного другой коэффициент – 14.7 PSI, хотя и не думаю, что данная разница в 3% имеет сколько-нибудь существенное значение.

³ Деление на 12 необходимо лишь в случае использования PSI и футо-фунтов, поскольку в одном футе 12 дюймов. Если же использовать систему СИ, то ни на что делить не надо.

⁴ То есть объем сжатого воздуха 2.79 кубических сантиметров, давление 88.4 атм., а начальный объем примерно 251.54 кубических сантиметров.

⁵ Около 112.52 Дж.

вылетающей пули будет чуть выше, чем если стрелять через некоторое время, дав резервуару остыть. Дело в том, что при быстром накачивании процесс сжатия становится близок к адиабатическому, и тепло не успевает уйти из резервуара. Следовательно, повышается температура газа, что приводит к повышению давления. Если же дать резервуару остыть, то при понижении температуры произойдёт понижение давления и скорость вылета пули несколько уменьшится.

Ситуацию с нагревом и охлаждением воздуха можно также проиллюстрировать с помощью широкой резиновой ленты. Если её резко растянуть, прижимая ко лбу, то она немного нагреется, притом этот нагрев будет вполне ощутим. Если же её так же резко сжать, то она наоборот станет прохладной. В случае же медленного растяжения и сжатия ленты никаких перепадов температур заметно не будет. Отсутствие изменения температуры в последнем случае объясняется тем, что процесс протекает медленно и температура успевает уравниваться с окружающей средой.

Эта аналогия между сжимаемым воздухом и резиновой лентой весьма полезна для понимания сути происходящих при сжатии процессов. В частности, становится очевидным, что только часть энергии, затрачиваемой на сжатие воздуха, расходуется затем на толкание пули через ствол. Это заключение приводит нас к двум важным терминам, характеризующим процесс сжатия – изотермический и адиабатический процессы. Термин «Изотермический» происходит от греческих слов *Isos* (равный) и *Thermos* (тепло). Поэтому когда резервуар накачивается медленно и температура остаётся неизменным, то процесс называется изотермическим.

И наоборот, термин «Адиабатический» также происходит от греческого слова *Adiabatos* – непреходимый. Другими словами, тепло не переходит через стенки резервуара и остаётся внутри него. Разумеется, данный процесс может протекать только если сжатие происходит очень быстро. Как уже упоминалось выше, это изменение температуры на примере резиновой ленты можно просто ощущать кожей.

Как мы уже упоминали ранее, существуют определённые проблемы и с измерением объёма сжатого воздуха, например, для достаточно малых объёмов воздушного патрона. Измерение различных диаметров и длин не даёт точного ответа, поскольку тут уже начинают играть роль наличие или отсутствие фасок на стыках и прочая подобная мелочёвка. Как оказалось, наиболее простым способом найти объём сжатого в воздушном патроне воздуха было его заполнение водой. Воздушный патрон сначала взвешивался пустым, затем разбирался и собирался уже под водой и взвешивался с водой внутри. Зная разницу в весе и плотность воды, не составляет труда посчитать объём.

Как правило, в этой книге мы в основном использовали принятые у нас единицы измерения, такие как футы, дюймы и им подобные. Однако в случае измерения маленьких объёмов оказывается более удобным перейти на более популярную систему СИ. Все коэффициенты преобразования из одной системы в другую даны в приложении в конце книги.

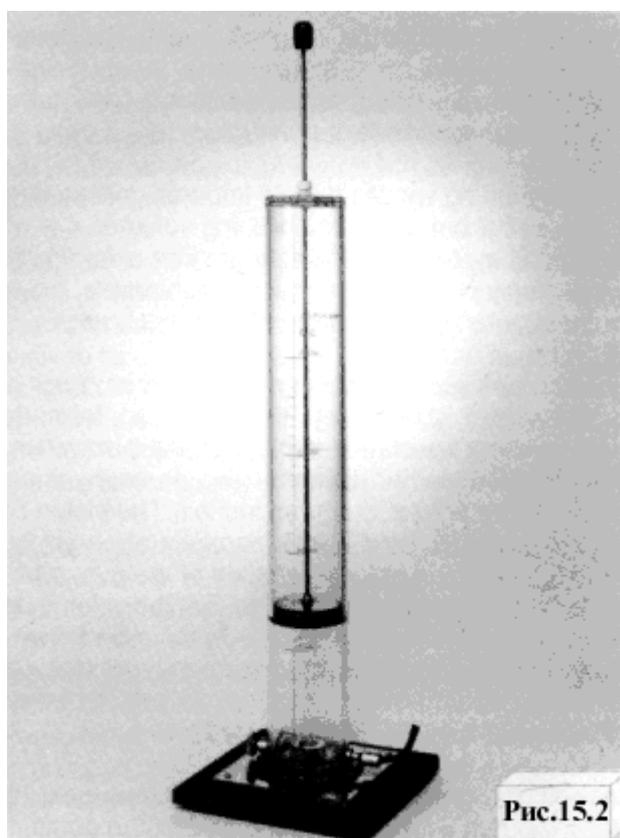
По разным поводам нам нередко хотелось знать точный объём газов, выходящий из ствола винтовки на сжатом воздухе. Для этого мы сконструировали специальное приспособление, показанное на **рис. 15.2**¹. Оно состоит из поршня, герметично, но относительно легко перемещающегося по пластиковой трубке, диаметр которой около трёх дюймов. Поршень может подниматься примерно на 15 дюймов, что обеспечивает объём в трубе порядка 2000 кубических сантиметров². Если входное отверстие трубки герметично присоединить к дульному срезу ствола винтовки, то при выстреле поршень

¹ Я не очень понимаю, чем их не устроила предыдущая конструкция, с помощью которой они измеряли объём газов, выходящих из ствола пружинно-поршневой винтовки, но тем не менее...

² То есть диаметр примерно 7.62см, а высота подъёма 38.2см.

под действием вытекающего воздуха поднимется вверх. Когда мы делали этот «прибор», то мы откалибровали цилиндр, наливая туда воду из точно откалиброванного сосуда. Таким образом, наш цилиндр имел снаружи шкалу в кубических сантиметрах, что позволяло без труда определять объём газа в цилиндре.

Как мы уже указывали в предыдущей главе, практически невозможно достичь более-менее высокого давления, используя просто поршень с направляющей, без системы рычагов. Для иллюстрации данного утверждения приведём простой пример. Пусть наш резервуар накачан до давления 1000 PSI с помощью такого насоса. Если посчитать, какое давление оказывается при этом на рукоять насоса, то мы получим около 231 Lbs¹. На первый взгляд это уже почти предел возможностей человека, хотя на практике мы получали и несколько большие давления, но для этого достаточно массивному человеку приходилось практически висеть на рукояти насоса. Очевидно, что это не самое простое упражнение, да и надёжность насоса не беспредельна. Опять же из практических наблюдений мы получили следующие цифры: максимально возможный вес, прилагаемый к рукояти насоса – 346 Lbs, что при диаметре поршня в 5/8 дюйма даёт площадь поршня в 0.307 квадратных дюйма и, соответственно, давление в 1127 PSI².



Исходя из вышеприведённых цифр ясно, что средний человек с помощью такого насоса вряд ли получит давление больше 1000 PSI. И опять-таки из практических наблюдений, накачивание таким способом более-менее большого резервуара достаточно трудно и требует очень большой настойчивости. Разумеется, первые качки будут проходить легко, но по мере повышения давления в резервуаре сделать очередной качок будет всё труднее и труднее. Ранние книги по этой же теме указывали, что для накачки резервуара часто приходится работать не одному, а в паре с кем-либо.

¹ То есть давление около 68 атм., а вес на рукояти 104.6 кг.

² Вес примерно 156.7 кг, диаметр поршня 1.59см, а давление 76.6 атм.

Разумеется, диаметр поршня можно уменьшить, это тут же приведёт к снижению усилий на рукояти насоса. К сожалению, при этом также уменьшится и объём воздуха, сжимаемого за один такт, то есть для накачки такого же резервуара, как и раньше, придётся сделать больше качков. Тем не менее, если не пугает увеличение количества качков, то стоит отметить, что при уменьшении диаметра поршня, например, вдвое, его площадь уменьшается уже в четыре раза и в итоге максимальное давление такого насоса становится в районе 4500 PSI¹.

Однако при этом следует помнить, что при ходе поршня в 12 дюймов объём воздуха, сжимаемого за один такт, упадёт с 3.68 кубических дюймов до 0.92 кубических дюймов². Это означает, что для накачки одного и того же резервуара во втором случае придётся сделать в четыре раза больше качков. Притом это теоретическая оценка для идеального случая, а в реальности количество качков увеличивается почти в пять раз.

Определённые трудности возникают и при дальнейшем уменьшении диаметра, когда он становится очень маленьким, а давление высоким. В этом случае уже начинает играть роль устройство насоса, точнее минимизация в нём «мёртвого объёма», поскольку иначе при каждом качке воздух будет сжиматься в этот мёртвый объём и максимальное давление так и не будет достигнуто. Естественно, что в идеальном случае поршень должен полностью выжимать весь воздух в резервуар, не оставляя никакого мёртвого объёма, однако, на практике такая ситуация невозможна. Ещё одна трудность при конструировании насоса высокого давления – это конструкция самого стержня рукояти, который с одной стороны, должен выдерживать большие нагрузки, а с другой – должен быть достаточно тонким и длинным. По этой причине весьма велика вероятность, что этот стержень просто погнётся, особенно когда в насосе будет достигнуто максимальное давление.

Многих трудностей с конструированием насоса высокого давления можно избежать, если от примитивной конструкции насоса а-ля велосипедный насос, перейти к более сложной конструкции многофазового насоса. В такой конструкции используется несколько вложенных друг в друга поршней и цилиндров. Внешний уровень имеет наибольший диаметр и наибольший ход, из него воздух попадает в следующий цилиндр с меньшим диаметром и, возможно, ходом. Кроме того, возможно, что воздух перейдёт в некий внешний цилиндр, и дальше будет сжиматься там. Такая конструкция позволяет достичь гораздо более высоких давлений при сохранении приемлемых усилий на рукояти насоса. Недостатком такой конструкции является то, что её достаточно тяжело встроить в винтовку, но для накачки резервуаров воздухом высокого давления, да ещё если она с приводом от двигателя такая конструкция становится весьма перспективной. Достаточно давно, ещё до популярности дайвинга, мы сконструировали такой насос самостоятельно. Он имел четыре уровня вложения и находился в баке с маслом, зато позволял получать давление до 10000 PSI, но в настоящее время стал неактуален, поскольку гораздо проще и дешевле заправлять баллоны воздухом высокого давления в клубах дайвинга.

Коленно-рычажный механизм.

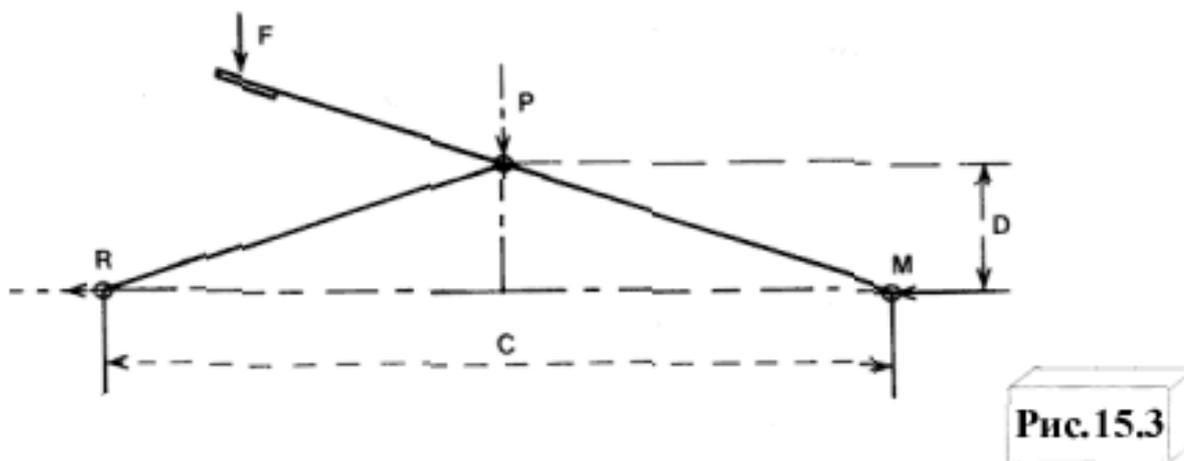
Вероятно, наиболее удачная конструкция встраиваемого в винтовку насоса основана именно на коленно-рычажном механизме. Эта конструкция идеальным образом подходит для сжатия воздуха с помощью поршня и системы рычагов, притом обеспечивает гораздо более приемлемые усилия, чем насос с прямым соединением рукояти и стержня поршня. Данная конструкция с помощью рычага обеспечивает достаточно быстрое перемещение поршня на начальном этапе, где сопротивление воздуха ещё невелико, и значительно медленнее (и со значительно большей силой) поршень

¹ Около 306 атм.

² Ход поршня 30.48 см, объёмы 60.3 см³ и 15.08 см³ соответственно.

перемещается ближе к концу цикла сжатия, когда сопротивление воздуха заметно возрастает. В самом конце сжатия, где давление воздуха наиболее высокое, система рычагов обеспечивает максимальное усилие на поршне. Таким насосом вполне можно получать давления около 3000 PSI¹.

На **рис. 15.3** показана схема коленно-рычажного механизма. В случае применения этой схемы в компрессионной винтовке, одно из плеч рычага продлевается, образуя рукоять. Это продление ещё больше увеличивает эффективность системы, в большинстве случаев продление идёт за точку Р, возможно, до трёхкратного увеличения этого плеча. Соответственно, усилие в точке Р получается в три раза больше, чем сила F, приложенная к рукояти. Таким образом, приложенная к рукояти сила F заставляет точку Р проворачиваться вниз, уменьшая расстояние D и заставляя двигаться точку R, которая в нашем случае прикреплена к поршню. Точка R будет обязана двигаться, поскольку другой конец, точка М, жёстко закреплена и потому неподвижна. Хотя на схеме тяги РМ и РR изображены одинаковой длины, на практике они зачастую несколько различаются, что практически не влияет на конечный результат.



На **рис. 15.4** показана диаграмма, позволяющая определять усилие на поршне, развиваемое коленно-рычажным механизмом. Как ей пользоваться проще всего продемонстрировать на примере. Нам нужно знать три величины из четырёх: размеры C и D, а также силу P и силу в точке R. Зная три из них, можем найти четвёртую из диаграммы. Например, пусть мы знаем, что сила F будет 45 Lbs и плечо FM в три раза длиннее плеча РМ. Тогда в точке Р будет действовать сила уже в три раза больше, то есть 135 Lbs. Кроме того, на работающей конструкции замеряем дистанции C и D, которые в данном примере составляют 8 и 0.25 дюйма соответственно². По этим данным можем определить силу, действующую на поршень. Для этого отмечаем на соответствующих шкалах величины для C и D и соединяем эти точки прямой. После этого отмечаем на шкале Р точку 135 Lbs и из этой точки проводим перпендикуляр к только что построенной прямой. Точка пересечения со шкалой R укажет силу, действующую на поршень. В данном случае это будет 1150 Lbs³. Точно таким же способом можно найти и любой другой из четырёх параметров, зная остальные три.

Эта диаграмма основана на простом соотношении:

$$\frac{R}{P} = \frac{C}{4 \cdot D}$$

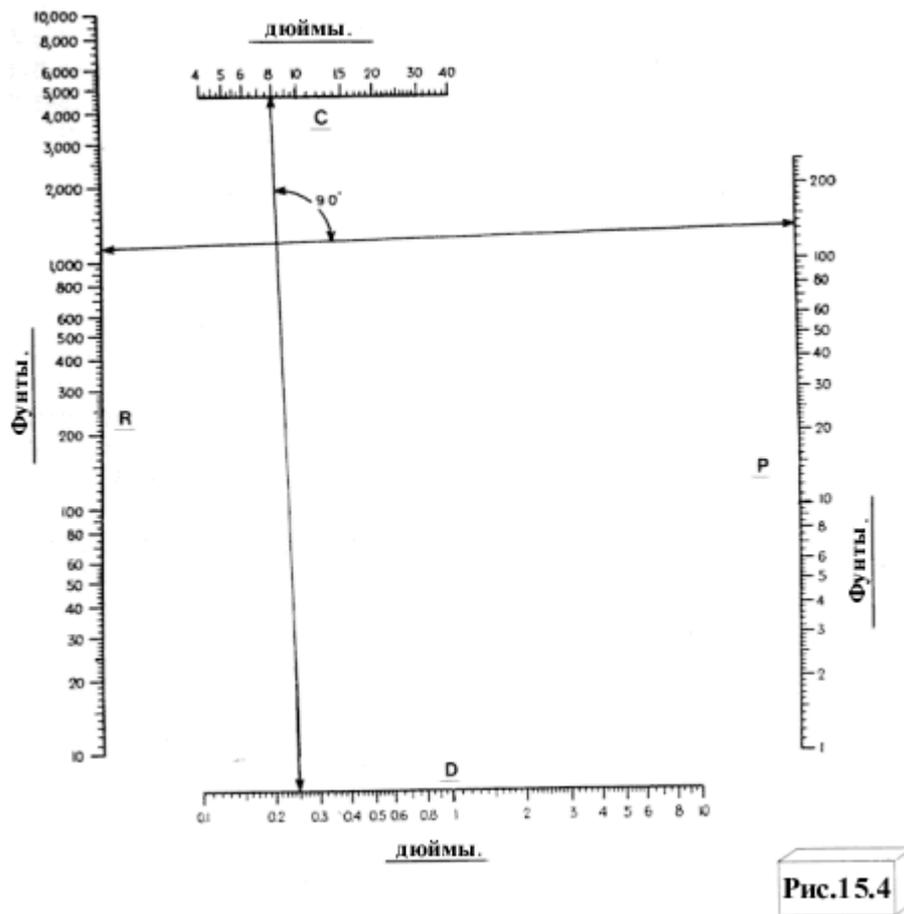
¹ Около 204 атм.

² Сила F 200Н, сила в точке Р около 600Н, а расстояния 20.32см и 0.64см соответственно.

³ Примерно 5105Н.

Вполне понятно, что полученное усилие на поршне многократно больше приложенного исходного усилия. В нашем случае осталось продавить ещё четверть дюйма (расстояние D), чтобы точки R, P и M выстроились на одной линии, обеспечивая максимальное усилие на поршне. На практике же обычно расстояние C делается чуть меньше, чем суммарное расстояние RP и PM. Делается это для того, чтобы после взвода рычаг мог с усилием пройти через «мёртвую точку» в виде прямой линии RPM и таким образом зафиксироваться в закрытом положении, в котором он и остаётся даже после выстрела из винтовки.

Из всего вышесказанного следует, что поскольку усилие на поршне достигло 1150 Lbs, то максимальное давление перед поршнем может быть этой же величиной, делённой на фронтальную площадь поршня. Это далеко не всегда так, поскольку в реально существующей конструкции всегда существует «мёртвый объём», который снижает итоговое давление, притом даже относительно небольшой «мёртвый объём» может оказать значительное влияние на конечный результат. В частности в мультикомпрессионной винтовке обязательно наличествует некий объём перепуска между поршнем и накопителем для сжатого воздуха, этот объём тоже снижает итоговое давление, несмотря на то, что диаметр перепускного отверстия, как правило, невелик, да и длина его тоже небольшая. Кроме того, остаются всегда объём пустот в манжете поршня, которая вряд ли будет идеально прилегать к дну цилиндра при сжатии и многие другие мелкие объёмы, которые в сумме дают заметное влияние на результат.



Разумеется, воздух, накапливающийся в «мёртвом объёме» не полностью бесполезен – при выстреле он также будет толкать пулю по стволу. Доказать это можно следующим способом – проведём сравнительный отстрел мультикомпрессионной

винтовки в двух случаях: в первом случае рычаг насоса будет в закрытом состоянии, а во втором случае – в открытом состоянии. Очевидно, что во втором случае весь воздух из «мёртвого объёма» уже выйдет, и не будет участвовать в разгоне пули, что немедленно отразится на скорости её вылета, которая во втором случае будет несколько меньше.

Для обеспечения максимальной стабильности характеристик мультикомпрессионной винтовки требуется не только накачивать её одинаковым количеством качков, но и соблюдать частоту этих качков, поскольку чем быстрее её накачивать, тем больший нагрев будет при сжатии, соответственно, будет выше давление и выше скорость. По этой же причине для поддержки максимальной стабильности рекомендуется после накачки дать винтовке остыть до температуры окружающей среды и лишь после этого стрелять. Мы из интереса замерили количество энергии, затрачиваемой на сжатие воздуха, и сравнили его с энергией вылетающей пули. Результат нас просто ужаснул – КПД этой системы оказался невероятно низким, примерно 5%.

Нередко возникает вопрос, связанный с накачкой мультикомпрессионных винтовок, а не может ли смазка в винтовке воспламениться от нагрева сжимаемого воздуха, точно так же как это происходит в пружинно-поршневой винтовке при выстреле. Ответ на этот вопрос таков: данная ситуация практически нереальна, поскольку скорость сжатия воздуха в мультикомпрессионной винтовке намного ниже, чем в пружинно-поршневой винтовке, поэтому достичь температуры, необходимой для воспламенения смазки, практически невозможно. Тем не менее, взрыв практически гарантирован, если попробовать заполнить мультикомпрессионную винтовку кислородом. Кислород при взаимодействии с маслом образует взрывоопасную смесь, а в винтовке практически всегда находится некоторое количество масла. Недаром на всех системах, работающих с кислородом под давлением, пишут «*Маслоопасно!*». Это весьма серьёзное предупреждение, касающееся всех нас.

Тем не менее, несмотря на существование насосов различных схем, наиболее простым и удобным способом для накачки винтовки воздухом высокого давления остаётся её заправка от резервуара со сжатым воздухом. Резервуары для сжатого воздуха продаются разного объёма и рассчитанные на различные давления. Их можно заправлять достаточно много раз и притом относительно дёшево, хотя и требуется регулярно проверять их надёжность ввиду потенциально возникающей внутри коррозии, которая снаружи совершенно незаметна, но в некоторый момент может привести к взрыву резервуара. Винтовка подсоединяется к резервуару, как правило, гибким шлангом, опционально с манометром, чтобы можно было видеть, какое давление получилось внутри винтовки. Таким образом, довольно обширные траты происходят один раз, при покупке резервуара и сопутствующего снаряжения, а дальнейшая эксплуатация всей этой системы весьма недорогая и весьма безопасная, если соблюдать правила ТБ и регулярно проверять резервуар на соответствующем оборудовании.

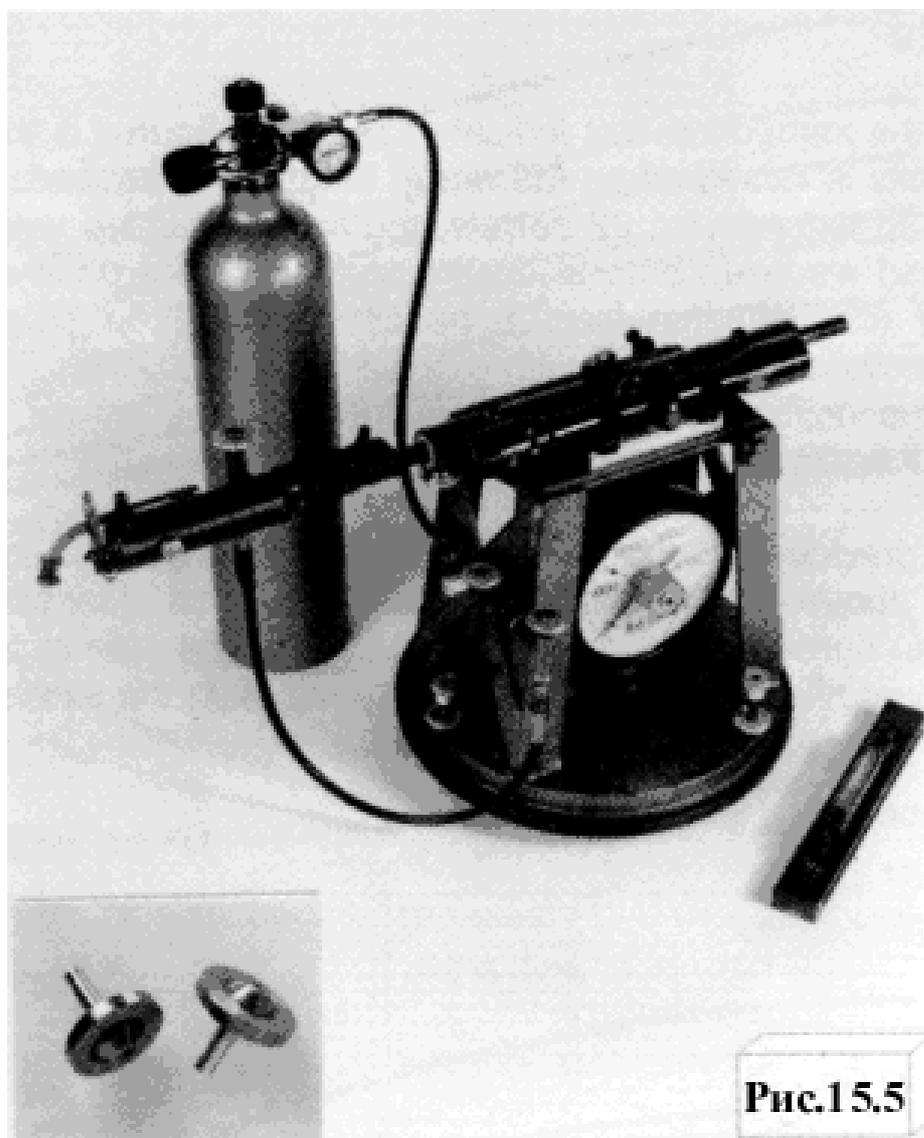
Мы разобрали различные способы закачки воздуха в винтовку, а теперь мы переходим к следующему этапу – изучению, как этот воздух ведёт себя при разгоне пули по стволу. Мы проводили это исследование достаточно давно и использовали наш «компрессионный метатель», который позволяет манипулировать многими параметрами, такими как калибр и длина ствола, объём сжатого воздуха и его давление и так далее.

Компрессионный метатель.

Перед тем как описывать результаты экспериментов, необходимо сначала описать конструкцию «компрессионного метателя», который использовался в них. Внешний вид этой конструкции показан на **рис. 15.5**. Создание этой конструкции было продиктовано нашим желанием изучать различные аспекты пневматического оружия. «Компрессионный метатель» получился весьма надёжной и долговечной конструкцией,

практически не дающей вибраций при выстреле. На двух грибовидных вставках были закреплены высокоточные показатели уровня, позволяющие точно выровнять ствол «компрессионного метателя» с помощью трёх регулировочных винтов (см. вставку на **рис. 15.5**). Конструкция предусматривает установку стволов различного калибра и длины, притом любой из стволов устанавливается надёжно и герметично.

Казённый «компрессионного метателя» был взят от винтовки *HW35* и немного переделан, чтобы обеспечить подключение к резервуару с воздухом высокого давления. Ствол крепится к казённику с помощью двух винтов без головок. Для фиксации казённого в закрытом положении используется штатная защёлка от той же винтовки *HW35*, это позволяет при необходимости открыть казённый, и произвести предварительную наводку на мишень, просто глядя через ствол. За казёнником расположен накопительный резервуар, максимальный объём которого 1.5 кубических дюйма и рассчитанный на давление до 4000 PSI. С помощью установки специальных колечек можно регулировать объём этого резервуара, притом минимальный его объём может составлять 0.12 кубических дюймов¹.



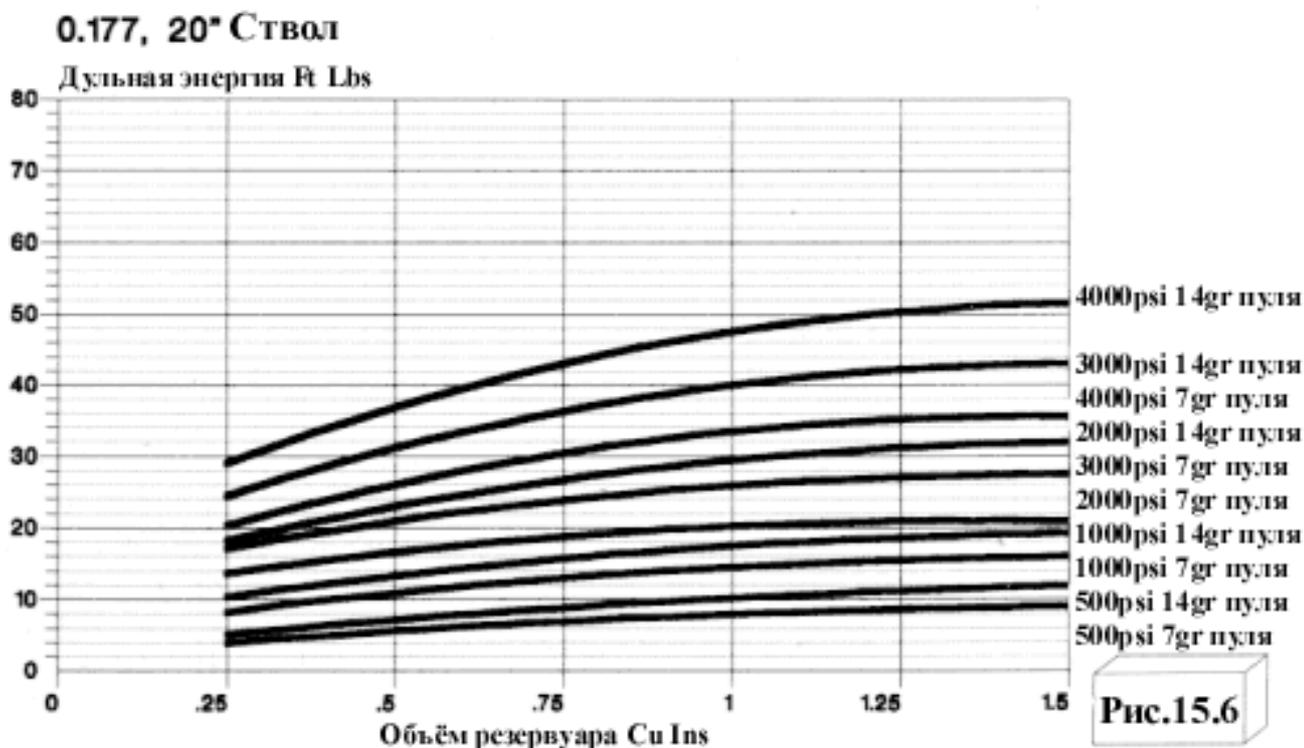
¹ Максимальный объём 24.6 см³, минимальный объём 1.97 см³, давление 272 атм.

Этот резервуар наполняется воздухом с нужным давлением путём манипулирования с тремя маленькими клапанами. После этого впускной клапан в резервуаре закрывается, чтобы исключить участие в выстреле воздуха из гибкого шланга. Спусковой механизм показан во взведённом состоянии. Для произведения выстрела надо нажать на горизонтальный рычаг вниз, он освободит вертикальный рычаг, который отклоняется назад по дуге горизонтального рычага. Нижний конец вертикального рычага связан с выпускным клапаном, как только рычаг отклоняется, клапан под действием сжатого воздуха открывается. Открытие происходит потому, что диаметр открывающего штока больше, чем диаметр закрывающего. Выпускной клапан, перепускное отверстие и ствол находятся на одной линии, что позволяет выходящему воздуху беспрепятственно толкать пулю по стволу.

Используя этот «компрессионный метатель» и различные стволы, в том числе, несколько соединённых вместе стволов (см. **рис. 9.2**), мы получили несколько графиков, изображённых на **рис. 15.6 – 15.10**.

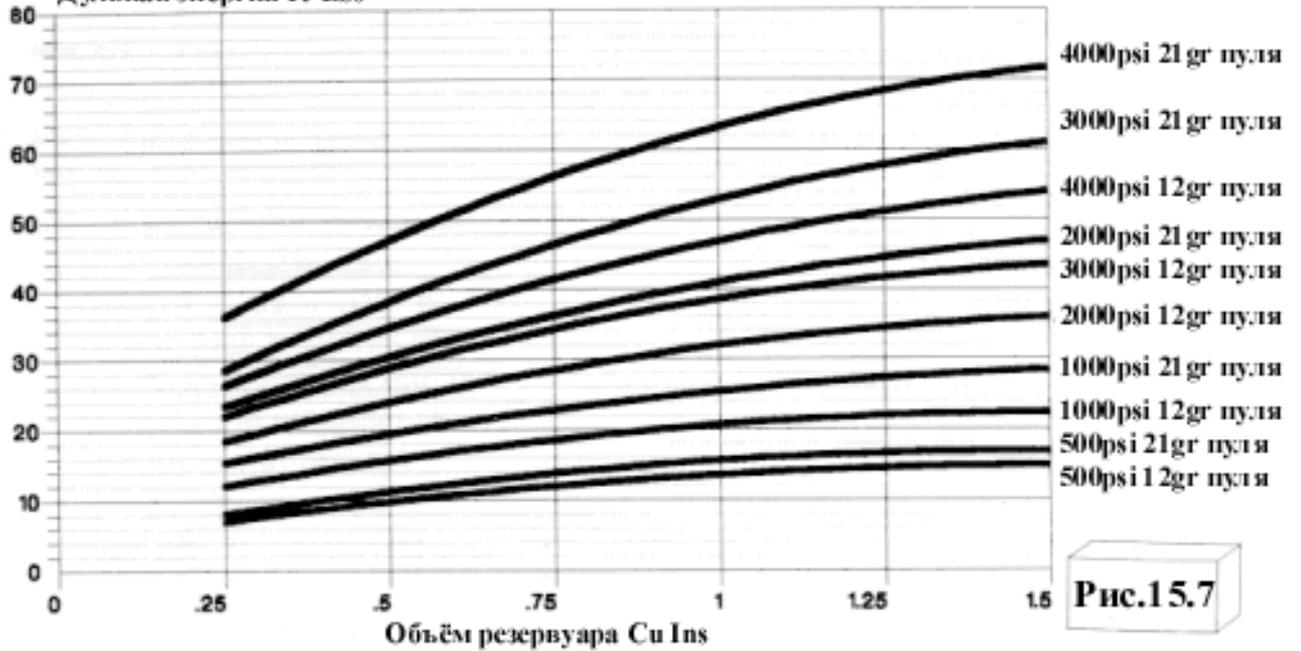
Наиболее очевидный факт, полученный из этих графиков, это рост скорости пули при увеличении длины ствола. Хотя мы удлиняли только ствол калибра 0.22 дюйма, точно такая же ситуация будет наблюдаться и с другими калибрами. Дульная энергия также увеличивается при использовании тяжёлых пуль, то есть эффективность системы возрастает при использовании более тяжёлых пуль. Также дульная энергия увеличивается с увеличением калибра, несмотря на то, что вес пуль остаётся прежним.

Из описания нашего «компрессионного метателя» ясно, что приведённые графики получены для идеальных условий – нет углов и прочих помех воздушному потоку. Винтовки более привычной компоновки будут давать несколько более скромные результаты.



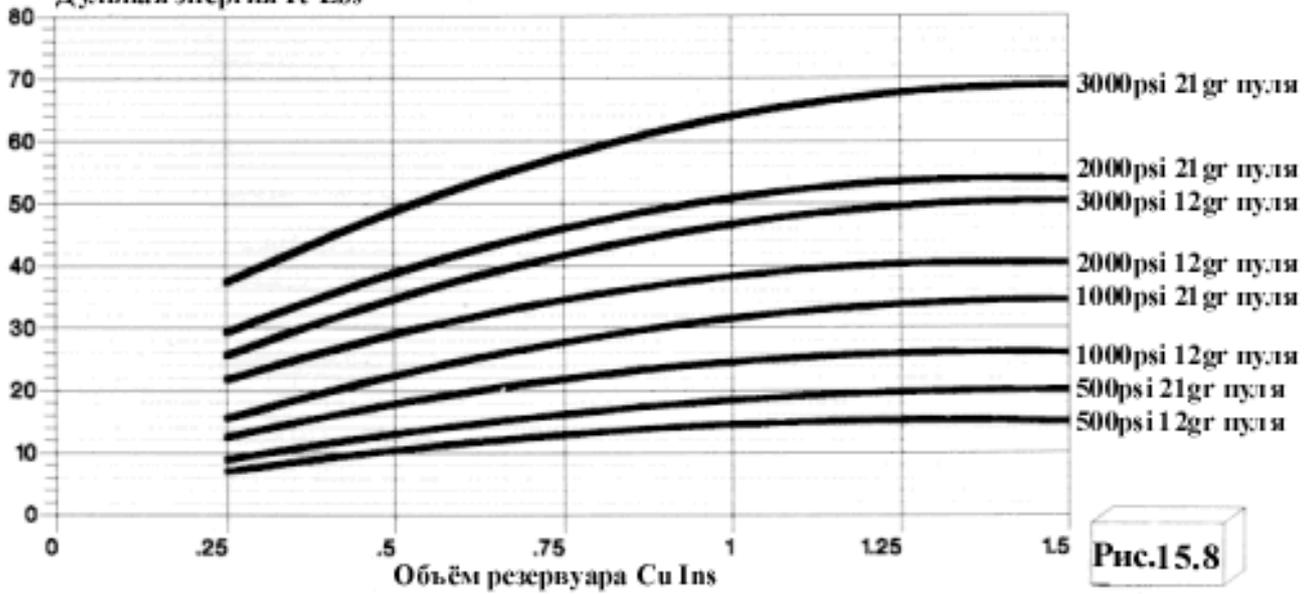
0.22, 20" СТВОЛ

Дульная энергия Ft Lbs



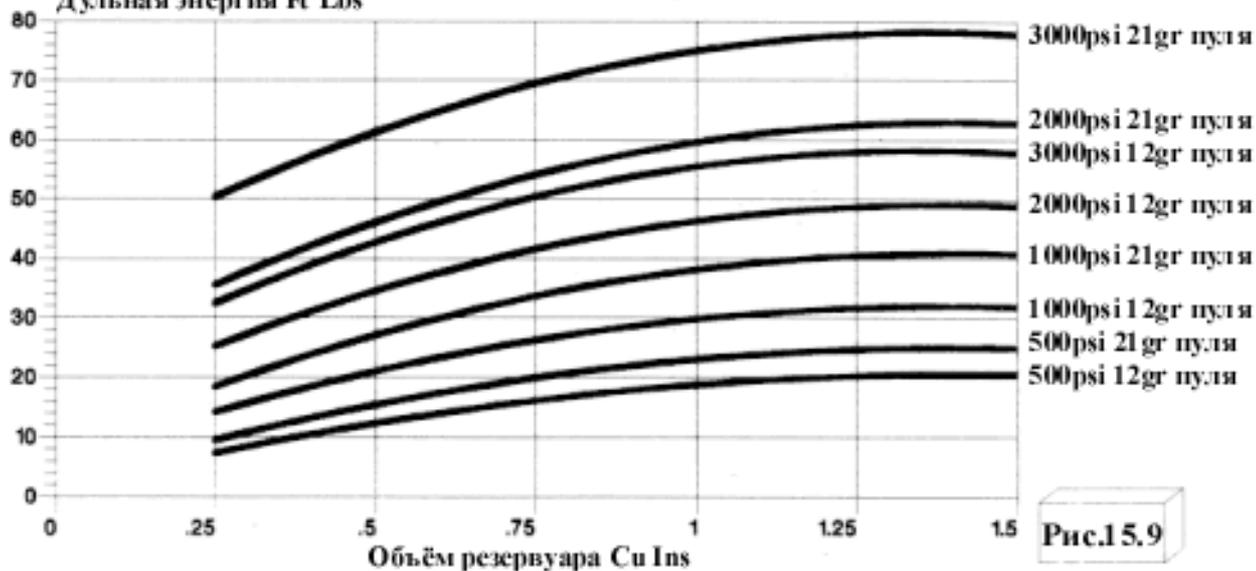
0.22, 38" СТВОЛ

Дульная энергия Ft Lbs



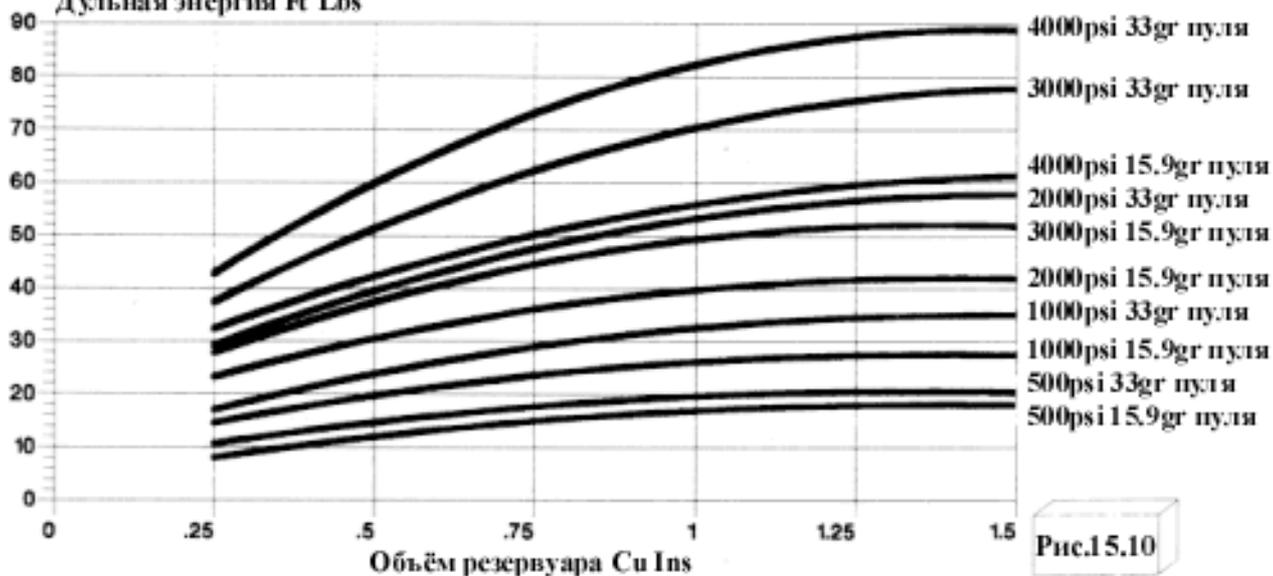
0.22, 50" СТВОЛ

Дульная энергия Ft Lbs



0.25, 20" СТВОЛ

Дульная энергия Ft Lbs



Глава 16.

Выпускные клапана и редукторы.

Контроль объёма выпускаемого воздуха из резервуара в ствол является одной из наиболее сложных задач при конструировании винтовок на сжатом воздухе. В идеале объём выпускаемого воздуха должен быть таким, чтобы сообщать пуле абсолютно одинаковую скорость, несмотря на падение давления в резервуаре.

Многие годы конструктора разрабатывали разные схемы, пытаясь приблизиться к указанному идеалу. Все эти конструкции можно разделить на два основных типа: систему типа «dump» и «knock-open»¹. В первых системах при открывании клапана за один выстрел выпускается весь воздух из резервуара, а во вторых системах лишь некоторая его часть. Клапаны первого типа используются в воздушных патронах, компрессионной пневматике и большей части мультикомпрессионной пневматики, а клапаны второго типа используются в РСР и изредка в мультикомпрессионных винтовках.

В мультикомпрессионной винтовке стабильность скорости, как правило, обеспечивается одинаковым количеством качков при сжатии воздуха. То же самое относится и к воздушным патронам, когда их накачивают ручным насосом.

Большая часть спортивных винтовок относится к типу РСР и, соответственно, оснащается клапанами типа «knock-open», чтобы за один выстрел выпускать лишь часть воздуха из резервуара и обеспечивать большое количество выстрелов с одной заправки. Клапаны системы «knock-open», по сути, обычно состоят из подпружиненного ударника, который бьёт по подпружиненному штоку, заставляя его открываться на небольшой промежуток времени. Это позволяет потоку воздуха проходить из резервуара в ствол при каждом выстреле. Однако, несмотря на кажущуюся простоту, если клапан сконструирован неразумно, то скорость вылета пули будет меняться в очень широких пределах по мере израсходования воздуха в резервуаре.

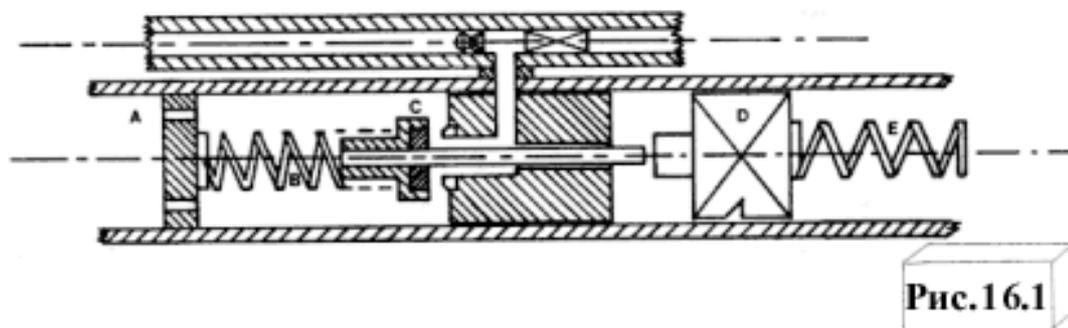
Первые пневматические винтовки имели очень сложную систему выпускного клапана. Нередко их приходилось взводить специальным ключом, или же взводить ударник почти как кремень в кремневых замках первых огнестрельных образцов. Сжатая листовая пружина затем разжималась, через систему рычагов заставляя открываться клапан. Механизм был весьма сложный, требующий большого времени на изготовление и настройку, соответственно, сейчас он уже не используется. Однако следует отметить, что и в таком механизме присутствовала некоторая автоматическая регуляция – по мере падения давления воздуха в резервуаре оно закрывало клапан всё медленнее, позволяя большему количеству воздуха пройти в ствол.

В 1891 году Paul Giffard получил патент на винтовку, работающую на газе. Хотя его винтовка работала на углекислом газе, он всё равно имел проблему с выпуском малого количества газа на каждый выстрел. В отличие от своих предшественников, Giffard не стал конструировать сложную систему запирания резервуара, а вместо этого он сконструировал первый клапан типа «knock-open», в котором ударник непосредственно бил по штоку клапана. Более того, он даже предусмотрел регулировочный штифт, который контролировал дистанцию, на которую открывался клапан. Это позволило ему легко регулировать мощность выстрела. Однако, следует помнить, что использование углекислого газа вместо воздуха позволило конструктору избежать проблем с падением давления – пока в резервуаре оставалась жидкая фаза давление было стабильным. Если бы он использовал воздух, то ему бы пришлось как-то компенсировать небольшое падение давления после каждого выстрела.

Различные вариации системы, которую предложил Giffard, сегодня используются практически во всех РСР винтовках. Ударник скользит в трубе позади клапана, толкаемый

¹ «Dump» – сброс, «Knock-open» - открытие ударом.

пружиной, которая сжимается при взведении винтовки. При нажатии на спусковой крючок, ударник под действием пружины движется вперёд, ударяет по штоку клапана, открывает его, а затем под действием запирающей пружины и давления в резервуаре клапан закрывается. Далее цикл повторяется пока в резервуаре остаётся воздух.



На **рис. 16.1** резервуар **А** содержит воздух высокого давления, закачанный через однонаправленный запорный клапан. Выпускной клапан **С** герметично прижимается пружиной **В** и давлением в резервуаре. При взведении ударник **Д** отводится назад, сжимая пружину **Е**, а при нажатии на спуск ударник под действием пружины движется вперёд, ударяет по штоку клапана, открывая путь потоку воздуха из резервуара в ствол для разгона пули.

В большинстве конструкций ударник взводится с помощью болтового затвора, который одновременно открывает доступ к зарядному окну. В задней точке взведения ударник цепляется за шептало, а болтовой затвор можно вернуть в переднее положение. Такая конструкция обеспечивает неплохую безопасность – практически невозможно выстрелить, не закрыв затвор. Даже если нажать на спуск при открытом затворе, то ударнику придётся при движении вперёд тащить за собой весь затвор, что приведёт к бешеному падению его скорости и удар по клапану будет очень слабый, возможно, вообще недостаточный для его открытия. Кроме того, воздух, который пойдёт в ствол при открытии клапана будет большей частью утекать в атмосферу через незакрытый затвор, вместо того, чтобы толкать пулю по стволу.

В случае реального использования приведённой на рисунке упрощённой схемы, о стабильности скорости не может быть и речи. Как правило, при использовании такой схемы скорость вылета пули сначала несколько нарастает, достигает максимума и начинает понемногу спадать, по мере опустошения резервуара.

Некоторые производители немного изменяют приведённую выше схему, чтобы достичь большей стабильности по скорости вылета пули. Изменяя вес ударника, его пробег, силу пружин и прочие параметры можно добиться достаточно неплохой стабильности скорости вылета пули даже для такой схемы выпускного клапана. Ниже, на **рис. 16.2** показан график изменения скорости вылета пули от числа выстрелов. Видно, что скорость сначала нарастает, достигает максимума при некотором оптимальном давлении в резервуаре, а затем начинает спадать. Правильная конструкция, настройка и расположение выпускного клапана определяются особенностями быстро движущегося потока воздуха. Как правило, это результат не столько расчётов, сколько опыта и метода проб и ошибок.

Вполне очевидно, что схема выпускного клапана на **рис. 16.1** может быть легко модифицирована в вариант «dump»-системы, для использования в компрессионной или мультикомпрессионной пневматике. Как правило, такие конструкции имеют относительно маленький объём накопителя для сжатого воздуха, поскольку иначе сжатый воздух будет

использоваться неэффективно. Наиболее заметно уменьшение резервуара в случае компрессионных пистолетов, поскольку для короткого пистолетного ствола требуется ещё меньший объём сжатого воздуха, а избыток его просто выходит из дула, создавая ненужный шум. Характеристики ударника и пружин в «dump»-системе также должны быть другими, поскольку тут уже требуется полное открытие клапана при выстреле и клапан должен оставаться открытым, пока не выйдет весь воздух.

Успех винтовки на сжатом воздухе во многом зависит от материала, из которого изготовлена торцевая поверхность штока выпускного клапана. С одной стороны, она должна быть достаточно мягкой, чтобы обеспечивать плотную и герметичную посадку на седло клапана, когда он закрыт. С другой стороны, она не должна быть избыточно мягкой, чтобы обеспечить надёжное и быстрое открывание клапана ударником. Таким образом, получается, что при высоком давлении в резервуаре предпочтительней использовать достаточно твёрдый материал, а при относительно низком давлении – мягкий материал. Экспериментальным путём мы пришли к выводу, что фторопласт является наиболее подходящим материалом для достаточно большого диапазона давлений, он обеспечивает надлежащую герметичность, кроме того, он может вбирать в себя небольшое количество мелкого мусора, типа случайно попавших песчинок, не нарушая при этом герметичности.



Кроме всего прочего, этот же материал должен прочно соединяться с самим штоком, иначе при открытии возможен вариант, когда сам шток под действием ударника подвинется, а его торцевая поверхность останется прижатой высоким давлением к седлу клапана. На нашей схеме **рис. 16.1** шток клапана С сделан в виде металлической чаши, внутри которой лежит уплотнитель, хотя иногда шток и уплотнитель изготавливаются в виде одного целого из какого-либо одного материала. В нашем случае края чаши немного загнуты вовнутрь, чтобы удерживать уплотнитель, поэтому для обеспечения герметичности седло клапана имеет небольшой выступ. Если же воздух попадёт в стык между металлической чашей и уплотнителем, то последний будет тут же вырван из чаши при очередном выстреле. Например, если диаметр штока будет $\frac{3}{8}$ дюйма, а давление в резервуаре будет 3000 PSI, то для открывания клапана нужна сила около 600 Lbs¹. Именно

¹ То есть диаметр штока 0.95см, давление 204 атм., сила на отрыв 1417 Н. (В два раза меньше, чем указано в оригинале, т.е. вроде там 300Lbs должно быть).

эту силу должен преодолеть ударник при открытии клапана и, очевидно, что такой удар может разрушить клапан, если изготовить его из недостаточно прочного материала.

Масса ударника, его разбег и сила толкающей его пружины – три основных фактора, влияющих на успех «knock-open»-системы. Если они будут подобраны неправильно, то ударник не сможет открыть клапан на нужное время, чтобы выпустить необходимый объём сжатого воздуха. Это значит, что момент движения ударника должен быть правильно подобран для каждой системы. Как известно, момент движения определяется как масса тела, умноженная на его скорость. Но в нашем случае это ещё не конец. Если пружина будет достаточно сильной, а ударник достаточно лёгким, то возможен вариант с пересиливанием закрывающей пружины **В** в случае пустого резервуара. Это неминуемо приводит к необходимости взводить ударник перед заправкой резервуара. Также существует вероятность, что шток **С** под действием пружины **В** и давления в резервуаре отбросит ударник достаточно далеко, что приведёт ко второму выстрелу при однократном нажатии на спусковой крючок. Теоретически на таком принципе можно получить полностью автоматический огонь очередями.

С другой стороны, если взять достаточно тяжёлый ударник и относительно слабую пружину, то может потребоваться увеличение пробега ударника для получения нужного момента движения для открытия клапана. Дело в том, что при удвоении массы ударника при неизменной силе пружины момент движения увеличивается лишь на 50%. Кроме того, это может привести к тому, что удар будет ощущаться уже на всей винтовке. Тем не менее, подбор компромисса между массой ударника и силой пружины не такая уж сложная задача, мы довольно быстро находили оптимальные значения, даже если исходно выбирали совершенно неправильные характеристики.

В течение многих лет мы проводили различные исследования и установили, что наиболее простым и эффективным методом регулировки мощности винтовки на сжатом воздухе является изменение расстояния, на которое ударник открывает клапан. Мы встраивали специальный регулировочный винт в ударник таким образом, чтобы штока клапана касался только самый кончик винта, после чего мощность винтовки можно было легко регулировать, изменяя этого винта относительно ударника. Кроме того, вокруг штока клапана мы прикрепили резиновое кольцо, которое принимало на себя избыток энергии ударника при открытии клапана. Таким образом, мы получили конструкцию, которая позволяла легко регулировать мощность винтовки, не внося существенных изменений в механизм.

В случае же конструкций клапана типа «dump»-системы, в основном для спортивных винтовок и пистолетов, устройство клапана получается несколько более сложным, чем для «knock-open»-системы. Как правило, при нажатии на спусковой крючок клапан открывается с помощью специальной пружины, опционально через систему рычагов, и этот клапан должен затем вручную закрываться при следующем взведении. Зато при использовании такой схемы не требуется столь больших энергий для удара по клапану, как в «knock-open»-системах, что в свою очередь способствует минимизации вибраций винтовки, весьма важному фактору для спортивного оружия с лёгким спуском. Разумеется, такая схема применима только в тех типах пневматического оружия, где предусматривается сброс всего запаса сжатого воздуха за один выстрел.

Трудности с получением стабильной скорости в случае многозарядной винтовки привели к тому, что John Ford обратился к нам с просьбой сконструировать винтовку, которая бы была лишена этого недостатка и при этом вполне подходила бы для соревнований по Field Target. Мы решили эту проблему, разработав схему, которую можно было бы назвать перезаряжаемой «dump»-системой. Идея заключалась в том, что воздух из вторичного резервуара выпускался полностью за один выстрел, однако, при перезарядке вторичный резервуар вновь наполнялся воздухом из первичного резервуара.

На **рис. 16.3** винтовка, называемая **GC2** изображена в момент готовности к выстрелу, пуля в казёнке и затвор закрыт. Резервуар **А** заполнен воздухом под давлением 3000 PSI, а резервуар **С** заполнен воздухом под давлением 1500 PSI¹. Этот воздух не может выйти, поскольку он заперт между перепускным клапаном **В** и специальным уплотнением **Д** штока выпускного клапана **Е**. Давление пытается сдвинуть шток назад, но он упирается в деталь **Г**, которая в свою очередь через пружину упирается в чашку **Ф**, а она зафиксирована шепталом **Н**.

При нажатии на спусковой крючок шептало **Н** сдвигается вниз под действием воздуха, давящего на шток **Е** и передающих это давление деталей **Г** и **Ф**. В результате шток **Е** открывает вход в перепускное отверстие, позволяя воздуху выйти в ствол.

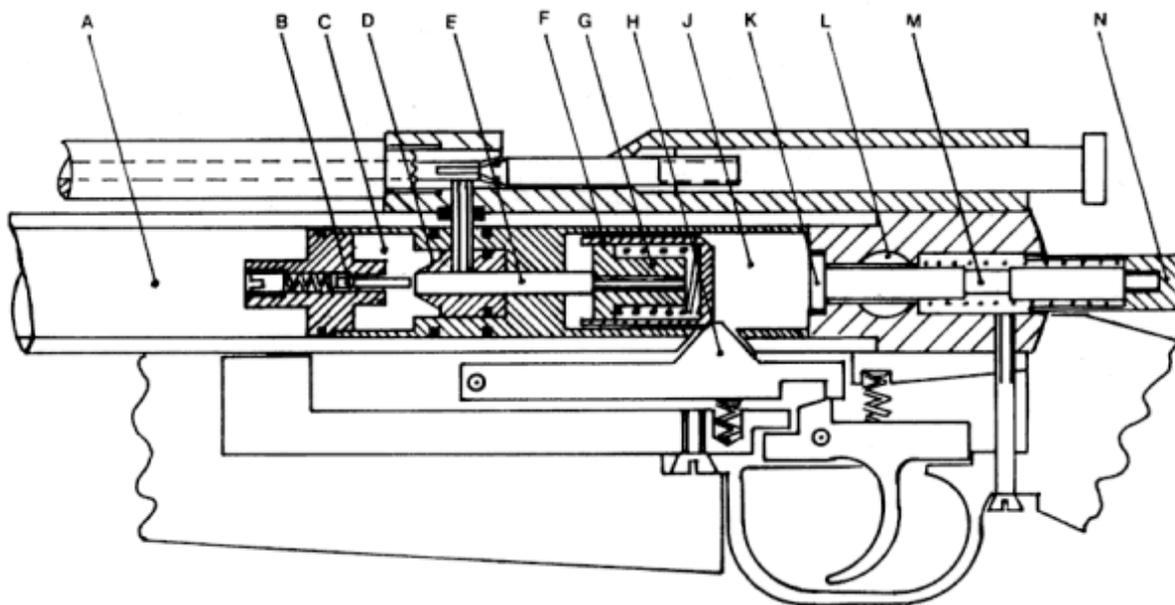


Рис.16.3

После выстрела для перезарядки резервуара **С** сжатым воздухом надо нажать на кнопку перезарядки **Н** и вдавливать её до тех пор, пока поперечный подпружиненный винт **Л** не повернётся, попав в паз **М**, и не зафиксирует шток **К** в переднем положении. В это же время шток **К** выдвигает обратно вперёд чашку **Н** вместе с деталью **Г** и штоком **Е**, позволяя подняться подпружиненному шепталу **Н**. Кроме того, под действием пружины деталь **Г** выдвигается из чашки **Н** и толкает шток **Е**, который в свою очередь открывает перепускной клапан **В**. Воздух начинает заполнять резервуар **С** и при достижении некоторого давления воздух снова отжимает шток **Е**, сжимая пружину в чашке **Ф**, и перепускной клапан **В** закрывается, при этом давление в резервуаре **С** остаётся неизменным от выстрела к выстрелу. Выпускной клапан, состоящий из штока **Е** и детали **Г**, сейчас находится в положении равновесия между давлением воздуха с одной стороны и пружиной, упирающейся в чашку **Ф**, с другой стороны. Чашка **Ф** пока всё ещё удерживается штоком **К**, который в свою очередь зафиксирован поперечным винтом **Л**.

В этот момент времени винтовка снова заряжена сжатым воздухом и готова к выстрелу, как только в казёнке будет вложена пуля и закрыт затвор. Нажатие на подпружиненный винт **Л** освобождает шток **К** и кнопку **Н**, которые возвращаются назад

¹ Соответственно 204 атм. и 102 атм.

под действием лёгкой пружины, скрытой внутри кнопки **N**. В этот момент детали **E**, **G** и **H** сдвигаются назад, пока чашка **F** не упрётся в шептало **H**. В результате образуется небольшой зазор между штоком выпускного клапана **E** и штоком перепускного клапана **B**, что гарантирует отсутствие протекания воздуха из резервуара **A** в резервуар **C** до следующего цикла перезарядки. Теперь все детали вернулись в своё исходное положение, и далее цикл выстрела и перезарядки повторяется.

Разумеется, давление воздуха в резервуаре **A** потихоньку снижается, но это не влияет на мощность выстрела, поскольку исходное давление в нём намного больше, чем давление, накапливаемое в резервуаре **C** перед выстрелом. Суммируя всё вышесказанное, можно отметить, что в этой конструкции шток **E** имеет четыре основных положения:

- зарядка резервуара **C** воздухом из резервуара **A**
- резервуар **C** полностью заряжен (шток **K** ещё в переднем положении)
- готовность к выстрелу (шток **K** отведён назад)
- выстрел (шток **E** в заднем положении)

Успех винтовки **GC2** привёл к тому, что другие производители также стали конструировать аналогичные винтовки, правда, менее сложной конструкции. Они использовали обычную «кнопк-орен»-схему, но вместе с редуктором, таким образом, получая одинаковое давление и стабильную скорость для каждого выстрела.

На **рис. 16.4** схематически изображён редуктор. Если сейчас вернуться к схеме на **рис. 16.1**, то этот редуктор может быть встроен прямо в резервуар, перед выпускным клапаном **C** так, чтобы торцевая пробка **L** была недалеко от конца пружины **A**. Кольцевое уплотнение **D** необходимо для исключения утечки воздуха между корпусом редуктора и внутренней поверхностью резервуара.

Задача редуктора обеспечить стабильное давление перед выпускным клапаном, несмотря на падение давления в резервуаре. Вполне очевидно, что редуктор будет функционировать, пока давление в основном резервуаре не опустится ниже некоторого порога, определяемого конструкцией редуктора. Перейдём теперь к описанию работы редуктора. Воздух высокого давления протекает через впускной клапан **B** и перепускной канал **F** во вторичный резервуар перед выпускным клапаном. По мере повышения давления во вторичном резервуаре, поршень **G** сдвигается вправо, сжимая пружину **J**. Клапан **B** через винтовое соединение прикреплен к поршню **G**, поэтому движение поршня **G** направо приводит к закрытию клапана **B** путём его прижатия к уплотнению **C**. Поршень **G** ещё немного продвигается за счёт наличия внутри него небольшого количества несжатого воздуха, удерживаемого гофрированной манжетой **K**.

Как только клапан **B** закрылся, воздух в редуктор больше не поступает и при этом получается, что воздух во вторичном резервуаре имеет постоянное, определяемое конструкцией давление. Регулировка этого давления производится балансом между давлением на поршень и пружиной **J**, соответственно, этот баланс может быть настроен путём изменения силы пружины. Регулировочный винт **A** предназначен именно для этой цели – при его завинчивании происходит сжатие пружины **J** и, соответственно, повышается давление на выходе из редуктора.

Вместо гофрированной мембраны **K** можно было бы использовать обычное кольцевое уплотнение в желобке между поршнем и корпусом редуктора. Выбор же именно мембраны обусловлен требованием лёгкого перемещения поршня, чего было бы очень трудно добиться в случае кольцевого уплотнения, которое под давлением стало бы сильно тормозить движение поршня и приводить к нестабильности давления на выходе из редуктора.

Кроме того, подобное кольцевое уплотнение приведено на схеме в точке **C**, для герметизации клапана **B**. Разумеется, это тоже не идёт на пользу стабильности выходного давления редуктора и в идеале надо бы использовать более сложную конструкцию

впускного клапана, однако, не следует забывать, что приведённый рисунок всего лишь принципиальная схема, а не исполнительный чертёж.

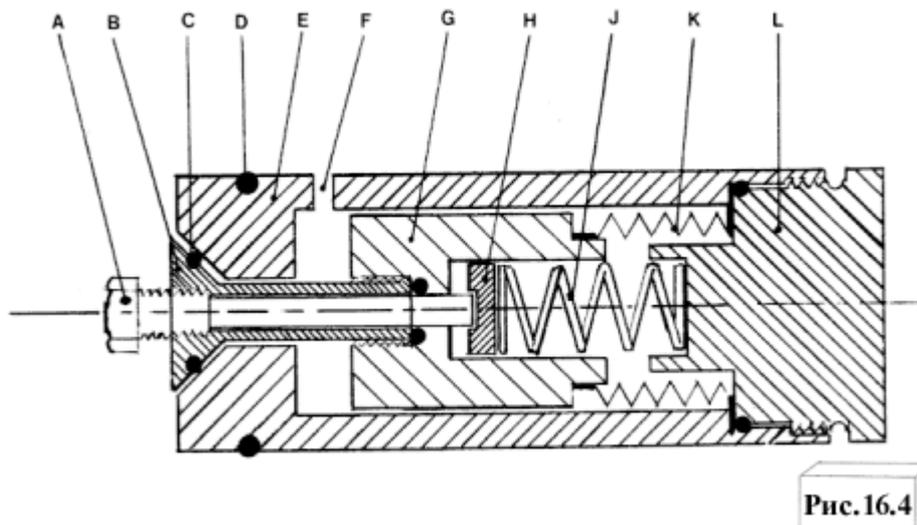


Рис. 16.4

Наши эксперименты показали, что редуктор работает лучше и точнее, если воздух через него протекает относительно медленно, именно поэтому при описании конструкции винтовки **GC2** на **рис. 16.3** следует отметить, что воздух проходит по виткам пружины, которая удерживает клапан **B** в закрытом состоянии. Такое ограничение позволяет гарантировать, что резервуар **C** будет наполняться достаточно медленно и точно до заданного давления. По той же причине подобный ограничитель на впускном клапане редуктора, изображённого на **рис. 16.4** также улучшит его характеристики.

Видимо, нет нужды говорить, что наличие редуктора приводит к удорожанию винтовки в целом, соответственно, обычно редуктора ставят только в дорогие винтовки, предназначенные для соревнований. Тем не менее, надо отметить, что и винтовки без редуктора при правильном конструировании и настройке выпускного клапана могут выдавать неплохое количество выстрелов с небольшим разбросом скоростей, вполне приемлемым для нужд среднестатистического стрелка.

В случае винтовки с редуктором также требуется тщательная регулировка выпускного клапана, закрывающей его пружины, массы ударника и силы его пружины. Дело в том, что с одной стороны, при выстреле должен выходить почти весь воздух из вторичного резервуара, а с другой стороны, при выстреле редуктор тут же начинает наполнять вторичный резервуар по новой, как только давление в нём начинает спадать. Поэтому выпускной клапан должен закрываться очень быстро, не допуская протекания только что поступившего из редуктора воздуха в ствол. Если очень хочется как-нибудь назвать и эту конструкцию, то её стоило бы назвать автоматически перезаправляемой «dump»-системой.

Глава 17. Углекислый газ.

Пока не было широкого распространения дайвинга, практически единственным общедоступным и компактным источником сжатого газа были баллоны с углекислым газом. В конце XIX века Paul Giffard запатентовал винтовку, работающую на сменных баллонах с углекислым газом. С тех пор многие производители пневматического оружия пользуются подобной схемой, поскольку популярность такой системы оказалась очень велика. В частности в США наиболее массовая продукция такого типа производится фирмой Crosman, там она весьма популярна, но в Англии распространена куда меньше.

Основная причина непопулярности углекислого газа в Англии в том, что его производство подпадает под ограничение **Fire Arms Certification**, другими словами, оно весьма ограничено. В США же газ дешевле и более доступен. Кроме того, относительно холодный климат снижает скорость вылета пули до совершенно неприемлемых величин¹.

Мы экспериментировали с винтовками, работающими на CO₂, как правило, на баллончиках для бытовых сифонов. В ходе экспериментов мы выяснили, что CO₂ является не самым подходящим газом для пневматического оружия, поскольку имеет относительно низкое давление, что приводит к получению заметно меньших скоростей, чем в случае использования сжатого воздуха. Далее, он тяжелее воздуха и имеет большую вязкость, что также не способствует росту скорости вылетающей пули по сравнению с её разгоном воздухом.

Углекислый газ вообще очень сильно отличается по своим характеристикам от воздуха. На **рис. 17.1** представлена диаграмма, отражающая основное интересное свойство. CO₂. В любой точке ниже графика газ находится в жидком состоянии, а выше – в газообразном. Это означает, что баллон с углекислым газом при температуре 20°C содержит газ под давлением 812 PSI². Если баллон подогреть, то часть газа из жидкой фазы перейдёт в газообразную, устанавливая давление, соответствующее новой температуре.

Если же часть газообразной фазы покидает баллон, например, при выстреле, то давление внутри баллона немедленно понижается, что приводит к испарению части жидкой фазы. Однако, это испарение требует затрат тепла, которое будет забираться из баллона и CO₂ в обеих фазах. Соответственно, произойдёт понижение температуры и вместе с ней и давления на тот период времени, пока баллон снова не нагреется от окружающей среды.

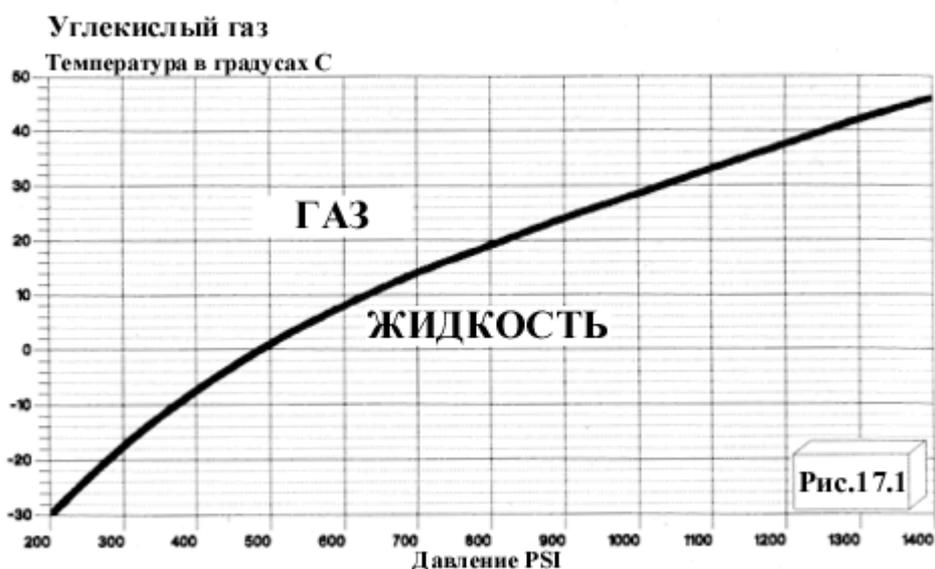
Айрганеры всегда хотят получать максимум мощности от своего оружия, а в этом случае ожидание после каждого выстрела, пока баллон с газом снова нагреется – весьма раздражающее занятие. Предложенная выше температура в 20°C является достаточно усредненной температурой для солнечного дня в Англии, и как было указано, при этой температуре давление CO₂ достигает всего 812 PSI, что намного меньше давления сжатого воздуха, используемого в РСР-конструкциях.

Ещё одним неприятным моментом в случае использования CO₂ является неприменимость ряда материалов в качестве уплотнений, поскольку хоть они и держат воздух, но пропускают углекислый газ. Например, уплотнительные O-образные колечки имеют свойство впитывать в себя CO₂ и разбухать, что в итоге приводит к заклиниванию скользящих деталей с таким уплотнением. Соответственно в случае CO₂ наиболее подходящим материалом для уплотнений является полиуретан.

¹ Это в Англии-то холодный климат?! Нет, по сравнению с США может и холодный, но по сравнению с Россией... © Тем не менее, в России CO₂ пневматика весьма популярна.

² Около 55 атм.

Почти все пользователи РСР конструкций знают, как несложно заправить винтовку от резервуара со сжатым воздухом, или же заправить маленький резервуар от большого – достаточно их соединить соответствующим шлангом и смотреть на показания манометра, пока не будет получено нужное давление в заправляемой ёмкости. В случае же с CO_2 всё несколько сложнее. Для заправки пустого резервуара или винтовки CO_2 надо для начала охладить этот резервуар. В противном случае при попадании жидкой фазы в относительно тёплую среду он быстро перейдёт в газообразную форму и поднимет, таким образом, давление в заправляемом резервуаре не позволяя максимальному количеству жидкой фазы попасть внутрь. После охлаждения заправляемой ёмкости, жидкая фаза CO_2 заливается без проблем, разумеется, при условии, что резервуар с CO_2 расположен выше заправляемой ёмкости, то есть когда выходное отверстие резервуара покрыто жидкой фазой CO_2 .



Практически все конструкции на CO_2 используют выпускные клапана системы «knock-open». Однако, существуют и свои проблемы, например, в случае стрельбы с направленным вверх дулом появляется возможность попадания жидкой фазы в ствол, где она немедленно начнёт испаряться, понижать температуру и, следовательно, давление. Вполне естественно, что тепла окружающей среды может не хватить для мгновенного испарения жидкой фазы и поэтому часть её может охладиться вплоть до твёрдого состояния, что ещё больше понизит скорость вылета пули. Эта твёрдая фаза CO_2 вылетает в виде снега вслед за пулей.

Некоторые современные пистолеты, работающие на CO_2 , имеют конструктивную особенность в виде выходного отверстия из баллона с CO_2 расположенного заметно ниже выпускного клапана, что позволяет практически гарантировать отсутствие жидкой фазы в стволе. Также имеются попытки использовать CO_2 в высокоточных матчевых винтовках, но преимущества его использования в этой области вместо сжатого воздуха весьма сомнительны.

Поскольку большую часть этой главы мы лишь критиковали различные свойства углекислого газа, пришло время упомянуть и о его преимуществах. Например, частный оружейник John Bowkett в течение нескольких последних лет изготовил ряд весьма интересных и уникальных конструкций именно на CO_2 . В его конструкциях обеспечивалось гарантированное отсутствие жидкой фазы CO_2 в выпускном клапане и стволе, был минимизирован эффект падения давления при охлаждении и, кроме того, он

использовал большие, чем обычно калибры, что также пошло на пользу использованию углекислого газа.

Вероятно, основным преимуществом CO₂ является большое количество стабильных выстрелов, которые можно произвести, используя относительно небольшой объём жидкой фазы углекислого газа. Поскольку из небольшого объёма жидкой фазы получается достаточно заметный объём газообразной фазы, то давление остаётся стабильным на протяжении многих выстрелов, пока поддерживается постоянная температура. Таким образом, можно получить немало выстрелов с весьма стабильной скоростью, если, конечно, стрелять не слишком быстро и давать газу время восстановить температуру.

Кроме того, этот большой объём получаемого газа позволяет конструировать полуавтоматические винтовки и пистолеты на основе CO₂. Возможно, наилучшим примером такого пистолета является Crosman 600¹. В нём углекислый газ не только толкает пулю по стволу, но и с помощью специального механизма производит зарядку очередной пули из магазина в казённый. Магазин содержит десять пуль, которые можно выстрелить одну за другой так быстро, как удастся нажимать на спусковой крючок.

Возвращаясь к обзору преимуществ и недостатков углекислого газа в пневматическом оружии, следует отметить, что все его недостатки весьма незначительны в случае развлекательной стрельбы, а преимущества в этой области весьма неплохи. Но как только речь заходит о спортивной стрельбе, большой мощности или высокой стабильности скорости – тут уже РСР-конструкции демонстрируют все свои преимущества и остаются практически вне конкуренции.

¹ В России такой модели не видел ни разу, зато другой полуавтоматический пистолет Walther PPK/S весьма популярен.

Глава 18.

Пули и их тестирование.

Раньше основными боеприпасами для пневматического оружия были дротики, шарики, и, как мы их сейчас называем, «Cat Slugs»¹. Почему и как образовалось это название сейчас уже неясно, но мы надеемся, что наиболее очевидная догадка не верна. Разумеется, сейчас ни один из этих типов боеприпасов не может достичь стандартов точности, предъявляемой к современному пневматическому оружию, но надо помнить, что раньше большинство пневматических винтовок было слабее, зачастую использовались гладкоствольные образцы, а «домашние» пневматические винтовки были практически игрушками. Мы специально использовали термин «домашние», чтобы отделиться их от серьёзных представителей пневматического оружия, которые в своё время по некоторым показателям даже превосходили распространённые тогда кремневые ружья.

Имя и время первого создания пули, подобной современным пулям «Diabolo» история не сохранила, возможно, их создал любитель пневматики, который также увлекался бадминтоном. Вероятно, он заметил, что волан всегда летит своей тяжёлой носовой частью вперёд, и это направление удерживается лёгкой хвостовой частью, кроме того, он слабо отклоняется от линии своего полёта, разумеется, в безветренную погоду. Соответственно, если воспроизвести ту же форму в свинце, то такая пуля даст большую кучность из гладкого ствола, чем другие пули, доступные в то время.

Большинство пуль, имеющих сужение в средней части, обладают небольшими продольными поясками, проходящими вокруг их юбки и головной части. Как правило, такие пояски образуются при изготовлении пуль, когда вначале из свинца формируется чашеобразная заготовка, а затем на ней прокатыванием выдавливается сужение. Альтернативный способ изготовления пуль это их штамповка с помощью соответствующих матриц. Иногда и такие пули тоже имеют пояски на хвостовой части, но в этом случае они очень ровные и геометрически безупречные. Несмотря на то, что получающиеся в результате пули имеют весьма гладкую поверхность, линия стыка матриц, как правило, с трудом, но всё же различима на глаз. Такие пули имеют большую цену и большую стабильность параметров и, следовательно, кучность, чем пули, изготовленные с помощью проката. Сами по себе пояски не влияют на качество боеприпасов, если кучность какого-либо боеприпаса плохая, то причину надо искать в чём-то другом. Можно возразить, что пояски вызывают дополнительные завихрения воздуха, заставляют пулю быстрее терять энергию вращения. Мы так и не смогли ни подтвердить, ни опровергнуть данное утверждение. Однако, наличие такого эффекта кажется нам весьма сомнительным, поскольку воздух до хвостовой части пули доходит относительно разреженный, после обтекания им головной части, потому если бы такой эффект и имел место, то воздействие его должно быть незначительным.

Исходно пневматическое оружие использовало три основных калибра – 0.177 дюйма, 0.22 дюйма и 0.25 дюйма². Также эти калибры нередко обозначались по номерам: калибр №1, калибр №2 и калибр №3 соответственно. Однако, со временем последний калибр терял свою популярность, поскольку выяснилось, что доступные винтовки и пули в этом калибре показывают относительно плохую кучность. Кроме того, для Англии проблемой становится и ограничение по дульной энергии – чтобы не выходить за положенные пределы скорость пули крупного калибра должна быть весьма невысокой из-за относительно большой массы. Тем не менее, в последние года наблюдается всплеск интереса к этому калибру, обусловленный тем, что ряд производителей выпустили на

¹ Судя по альтернативным источникам это пули цилиндрической формы, хотя точной уверенности в этом у меня нет. По данным с упаковок некоторых пуль это тип пуль с отделяемым при попадании сердечником, латунным или стальным и пластиковым или резиновым стаканчиком

² Соответственно 4.5, 5.5 и 6.35 мм.

рынок винтовки, хоть и подпадающие под *Fire Arm Certification*, но при этом имеющие приемлемую скорость вылета пули. Вероятно, ни у кого не вызывает сомнения эффективность применения пули более крупного калибра при охоте на вредителей, поскольку наиболее популярный калибр 0.177 зачастую прошивает цель как иголка, не нанося ей существенного ущерба. В этом плане калибр 0.25 куда эффективней и убивает мелких вредителей сразу же. Общее правило «0.22 на пушного зверя и 0.177 на птицу» зачастую выдвигается как основа для выбора калибра на охоте, исходя из того, что малый калибр лучше проникает через слой перьев, а более крупный калибр быстрее и гуманнее убивает пушных зверьков.

Другой калибр, который также достиг заметной популярности – это 0.20 дюйма¹. Приверженцы этого калибра утверждают, что он сочетает в себе преимущества обоих калибров – и 0.177 дюйма и 0.22 дюйма, и лишь малую часть их недостатков. Мы не можем с уверенностью утверждать так ли это, поскольку, во-первых, достаточно мало производителей используют этот калибр в своих изделиях, а во-вторых, мы не использовали такой калибр в наших экспериментах. Что же касается стальных дротиков, то они, как очевидно, даже не рассматриваются как боеприпас для серьёзного использования в пневматическом оружии, поскольку прогон таких дротиков по нарезному стволу, во-первых, может негативно сказаться на нарезах, а во-вторых, они почти не закручиваются нарезами. Поэтому наиболее популярно использование дротиков на различных ярмарках, где или стреляют по мишени из гладкоствольной маломощной пневматики.

Несмотря на многочисленные попытки улучшить характеристики пуль, на сегодняшний день не существует вариантов, которые бы превосходили по дешевизне, кучности и доступности всем известные свинцовые «Diabolo» с учётом их многочисленных вариаций. Каждый год на рынке появляются новые пули, но, как правило, они являются не более чем незначительными вариациями уже существующих пуль. Наиболее известные производители пуль выпускают целый спектр разных пуль, отличающихся различной формой головной части, которая может быть круглой, плоской, остроконечной и даже с выемкой. Пули с плоской головной частью в основном используются спортсменами при стрельбе по мишеням, поскольку они оставляют на бумаге аккуратные отверстия, что упрощает подсчёт очков, кроме того, они обычно используются для целевой стрельбы на короткие дистанции. Круглоголовые же пули наиболее популярны среди широких слоёв пользователей пневматического оружия. Вне зависимости от производителя, каждый из типов пуль декларируется как самый лучший, но это вполне понятно и происходит в любой индустрии. Определить количество производимых в мире пуль достаточно трудно, но можно предположить, что их количество исчисляется многими миллионами штук в год.

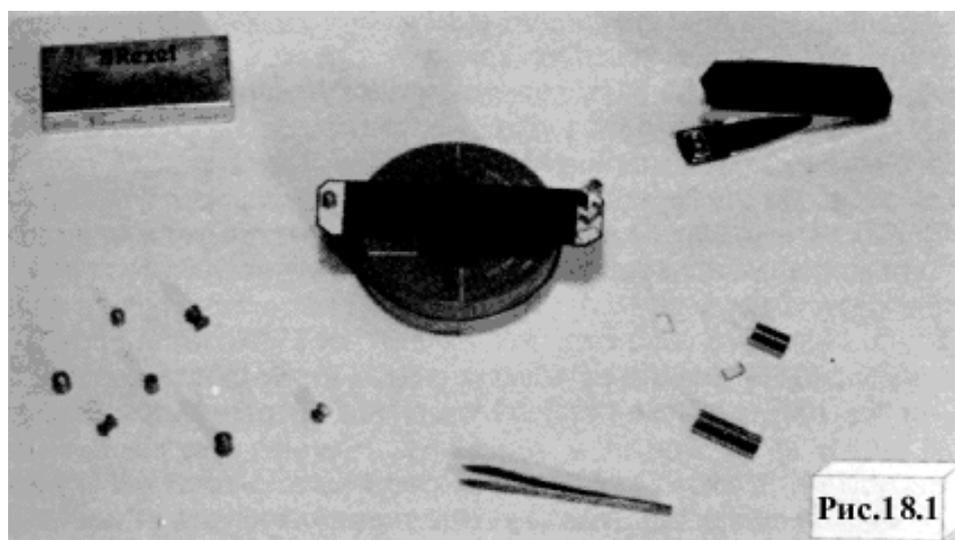
Пули типа «Diabolo» демонстрируют весьма неплохую кучность даже когда летят без закрутки – это легко проверить, стреляя на небольшую дистанцию из гладкоствольной пневматики. Однако они имеют и весьма существенный недостаток – сильное сопротивление воздуха при полёте. Это значит, что дальность их полёта сильно ограничена, в то время как более гладкие пули, имеющие меньшее сопротивление воздуха, будут меньше тормозиться при полёте. Избыточное сопротивление воздуха немедленно приводит к увеличению времени полёта от дула до цели, что в свою очередь означает большую потерю высоты пуль. Это значит, что спортсменам надо измерять дистанцию до цели очень точно и аккуратно настраивать свои прицелы.

Вполне понятно, что для айрганеров было бы неплохо суметь протестировать качество тех или иных пуль до того, как начать их серьёзно использовать, особенно если

¹ Около 5 мм.

речь идёт о соревнованиях. Несколько различных систем было разработано для тестирования и ранжирования матчевых пуль, с целью выявить лучшие из них, дающие наилучшую кучность и наименьшее количество «дур» (то есть случайных, беспричинных отрывов от всей предыдущей группы попаданий). Как правило, перед выбором пуль их предварительно отмывают специальным моющим средством, чтобы удалить возможные следы консервационной смазки и прилипшие кусочки свинца, затем тщательно сушат в духовом шкафу. После этого производится взвешивание пуль с высокой точностью, и отбираются пули, отклоняющиеся от среднего показателя не более чем на одну десятую грана¹, а пули, не прошедшие такой тест, не используются на соревнованиях, но остаются для тренировок.

Хотя для взвешивания пуль можно купить и промышленные весы, но можно и использовать несложное самодельное устройство, которое позволяет взвешивать пули с точностью до одной четвёртой грана². На **рис. 18.1** показано это устройство, представляющее собой просто полоску из тонкого металла, изогнутую посередине и балансирующую на острие половинки лезвия бритвы. А в качестве грузов используются скрепки для бумаг Rexel Vambi, каждая из которых весит ровно одну четвёртую грана.



Следующий необходимый тест – это калибровка пуль по диаметру. Наиболее простой способ для этого – использовать прозрачный корпус от шариковой ручки, из которого удалён стержень. Он, как правило, имеет слегка конусообразную форму, и если в него опускать пули, то в зависимости от диаметра они будут останавливаться на разных местах. После чего достаточно нанести рядом две метки и выбирать пули, останавливающиеся ровно между этими метками. Хотя такой метод кажется очень упрощённым и топорным, на деле он показывает достаточно неплохие результаты, поскольку использование для измерений микрометра приводит к повреждению пули и искажению результата.

Поскольку юбка у правильной пули должна быть чуть больше, чем её головная часть, то такая пуля должна кататься по кругу, если её положить на гладкую поверхность и легонько подуть. Чем больше разница диаметров юбки и головной части, тем меньше будет описываемая пулей окружность. Если предположить, что головная часть точно соответствует калибру ствола, то пули, катающиеся по меньшей окружности, будут плотнее сидеть в стволе, поскольку их юбка имеет больший диаметр, а, соответственно,

¹ Примерно 0.0065 г.

² Около 0.01618 г.

пуля, описывающая большую окружность, будет сидеть в стволе легче. Однако, следует помнить, что некоторые производители делают юбки своих пуль из более толстого слоя свинца, что требует делать диаметр хвостовой части не слишком большим, иначе из-за относительной твёрдости пуля не будет корректно обжиматься в стволе. Те же пули, которые катаются по прямой, практически бесполезны в серьёзной пневматике и применимы разве что в маломощных винтовках, работающих в фазе *blowpipe*.

Во время прокатывания пуль по поверхности также полезно смотреть насколько равномерно они катаются. Если качение пули напоминает серию рывков, то это повод для серьёзного подозрения в дисбалансе хвостовой части. Также пуля не должна вилять, а должна катиться строго по окружности. Иначе это значит, что хвостовая часть пули находится под углом к головной части, а это приведёт к вылету пули из дула под углом, и, соответственно, к непредсказуемому падению кучности. В итоге почти всё тестирование тут остаётся только на глаз, достаточно просто внимательно смотреть и можно обнаружить большую часть возможных дефектов пуль.

Насколько такие несложные тесты помогают отобрать качественные пули для соревнований – вопрос спорный. Возможно, польза больше психологическая, чем практическая, хороший пример «победы разума над материей». Мы же сконструировали ряд приспособлений, чтобы попытаться выяснить, почему пули одних производителей лучше по кучности, чем пули других, а также, почему пули одной формы показывают лучшую кучность, чем пули другой формы.

На **рис. 18.2** показано устройство, в котором пуля раскручивается до высокой скорости и в таком виде выпускается на стеклянную плоскость, как волчок. Сначала пуля помещается в чашевидную выемку, на углубление на торце вала. Затем, пока происходит присасывание через специальный наконечник, чтобы зафиксировать пулю на месте, запускается электрический мотор. После чего вся вращающаяся конструкция переворачивается и пуля «выдувается» на поверхность, где и продолжает вращаться. То, насколько ровно пуля вращается, особенно, когда вращение замедляется, служит достаточно наглядным индикатором качества балансировки пули. Короткие пули с тяжёлой хвостовой частью, у которых центр тяжести смещён назад, склонны переворачиваться и вращаться на боку, но большая часть всё же вращается на своей головной части, хотя и не очень устойчиво – сильно раскачиваются перед остановкой. Разумеется, такой способ не применим для пуль с плоской головной частью или с выемкой на головной части.

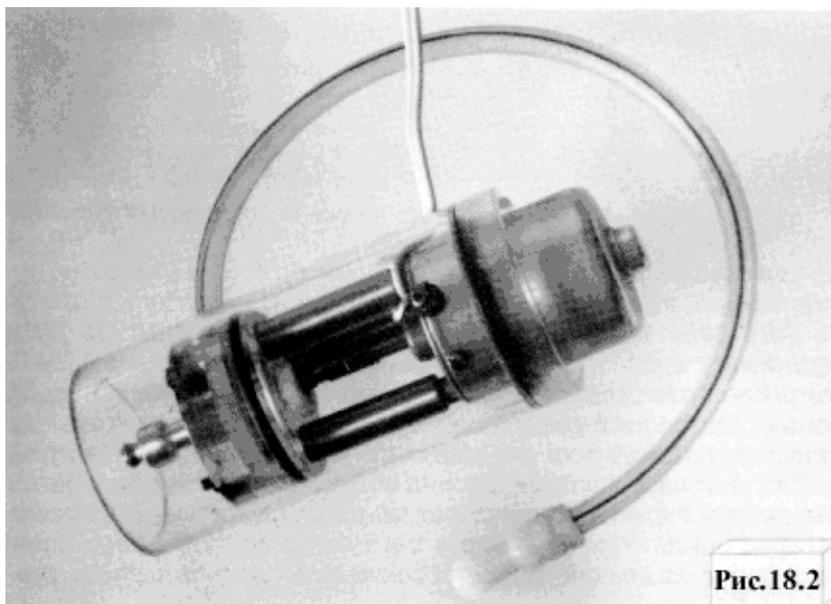


Рис.18.2

Для того чтобы определить центр тяжести пули, мы поместили каждую пулю в смолу, затем срезали слой за слоем, пока срез не стал проходить точно посередине пули, результат изображён на **рис. 18.3**. После этого мы поместили срезы на фотоувеличитель и отпечатали увеличенные картинку на тонкой бумаге. После этого мы вырезали силуэты пуль из бумаги и, свободно вывесив их на булавке, проводили вертикальную линию по отвесу, висящему на той же булавке. Это дало нам две пересекающиеся линии, а на точке пересечения как раз и находится центр тяжести пули, **рис. 18.4**. В большинстве случаев центр тяжести лежит на расстоянии от трети до половины длины пули, если отмерять от её головной части.

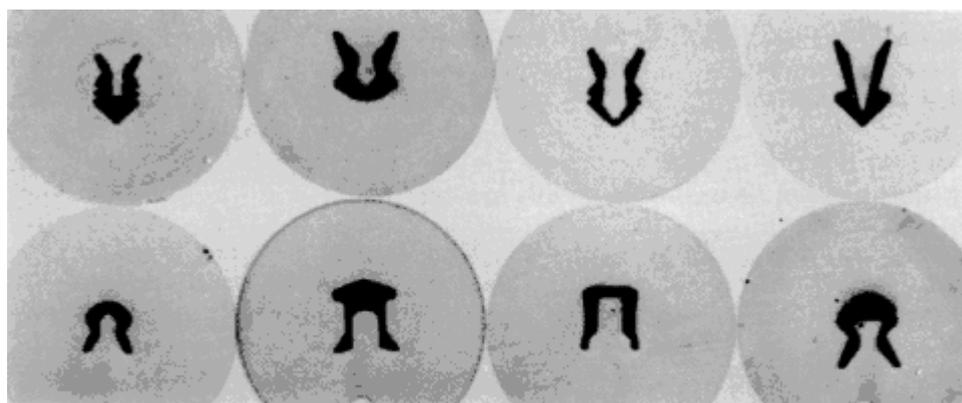


Рис.18.3

Зачастую объём тестов резко возрастает по мере повышения точности, которой пытаемся добиться в ходе тестирования, в частности, можно, например, исследовать эффект повреждения пуль от переноса в жестяной банке, хотя этот эффект вряд ли оказывает сколько-нибудь заметное влияние на результат. Кроме того, можно специально повреждать пули, чтобы понять, что надо искать при тестировании. Например, в тесте на вращение можно срезать кусок свинца с хвостовой части, увеличив тем самым дисбаланс, а в других тестах можно отрезать кусочки с носовой части, чтобы проверить влияние неправильной формы пули на её кучность. Нас всегда поражало то количество повреждений, которое надо нанести пуле, чтобы серьёзно повлиять на кучность.

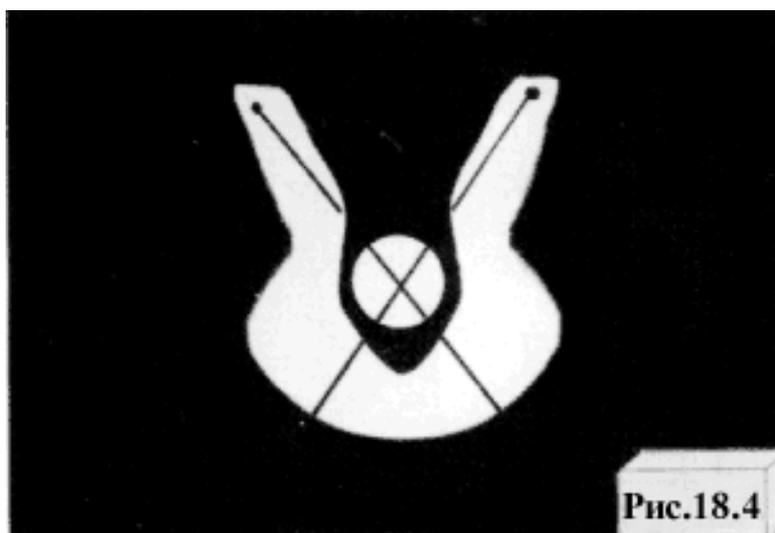


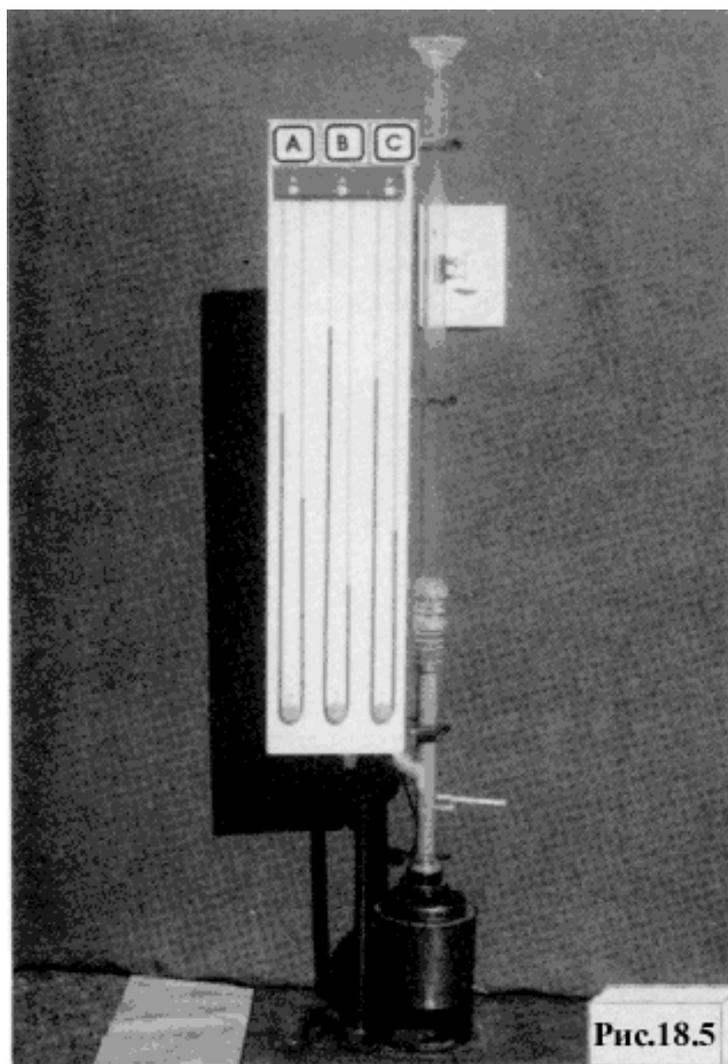
Рис.18.4

Аэродинамическая труба.

Мы описываем созданное нами различное оборудование для тестирования пуль, но при этом следует помнить мудрое изречение: «*Одно дело изготовить скрипку, а совсем другое – научиться на ней играть*». Точно так же и с нашими экспериментами – требуется огромное внимание и долгое наблюдение, чтобы начать извлекать пользу из любого созданного оборудования.

Как часть наших исследований пуль, мы сконструировали небольшую аэродинамическую трубу, **рис. 18.5**. Она базируется на обычном пылесосе, который гонит воздух по длинной трубе диаметром 1.25 дюйма¹. В начале трубы воздух обтекает пулю, закреплённую на весах, что позволяет измерить её сопротивление набегающему потоку.

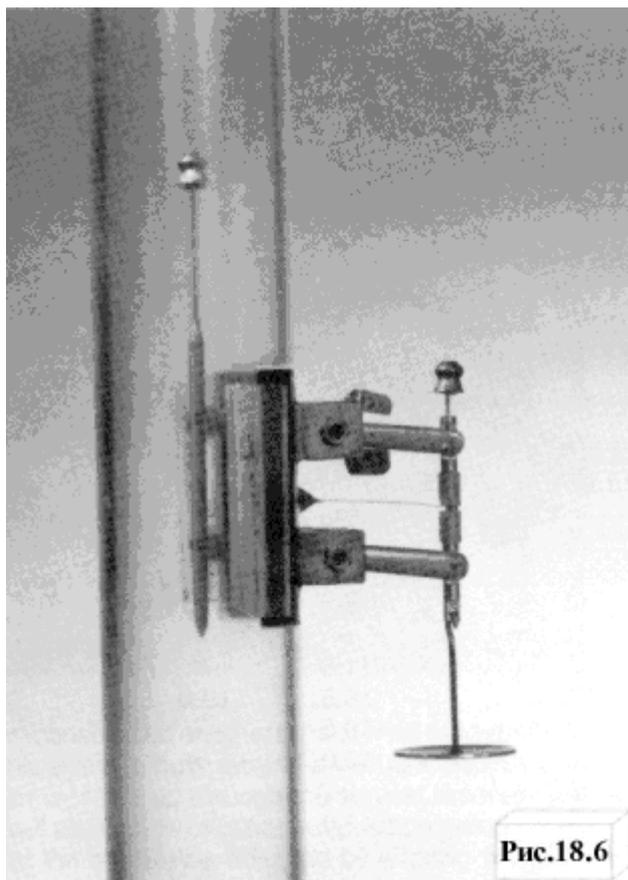
Сами весы показаны подробно на **рис. 18.6**, как видно, часть их находится в трубе, но большая часть снаружи. Для калибровки весов сначала запускается аэродинамическая труба без пули, что позволяет замерить и уравновесить давление потока воздуха на детали весов, находящиеся внутри трубы. Далее две одинаковые пульки помещаются на плечи весов, одна внутри трубы, а другая вне её, чтобы исключить из рассмотрения вес самой пули. После этого аэродинамическая труба запускается и с помощью грузов уравнивается давление воздушного потока на пулю. Сумма весов этих грузов, очевидно, и будет показывать силу сопротивления данной пули воздушному потоку.



¹ Около 31.75 мм.

Далее, ниже основной трубки смонтирована специальная конструкция, называемая «трубкой Вентури», которая соединена с несколькими U-образными трубками, наполненными подкрашенной жидкостью. Положение жидкости в трубках соответствует скорости воздушного потока в трубе и, соответственно, скорости обтекания потоком тестируемой пули.

U-образные трубки **А**, **В** и **С** присоединены к разным точкам конструкции. **А** измеряет давление между пулей и трубкой Вентури, **В** показывает давление воздуха, протекающего через трубку Вентури, а **С** демонстрирует давление между источником воздушного потока и трубкой Вентури. Чуть выше источника воздушного потока можно заметить термометр, он показывает температуру воздуха, проходящего через систему.



Зная разность в уровнях жидкости в трубках, а также температуру, влажность и атмосферное давление, можно вычислить скорость воздушного потока, обтекающего пулю. Подробный алгоритм такого расчёта можно найти в *British Standard 1042 (Measurement of Airflow)*.

Максимальная скорость потока, получаемая в нашей трубе, составила около 130 FPS, что относительно мало по сравнению с более реальными скоростями для серьёзного пневматического оружия порядка 700 FPS¹, также не следует забывать, что при удвоении скорости пули сопротивление возрастает в четыре раза. Однако, расчёты показывают, что для достижения таких скоростей в нашей трубе потребовался бы наддув мощностью порядка 10 лошадиных сил, а достать такой аппарат было для нас достаточно затруднительно. В любом случае, даже на таких небольших скоростях мы смогли получить весьма интересные сравнительные показатели.

¹ Соответственно 39.65 м/с и 213.5 м/с.

Выборка пуль показана на рис. 18.7, она представляет собой весьма обширную коллекцию пуль различных форм, а также несколько специально изготовленных для эксперимента пуль специальной формы. Величина сопротивления измерена в гранах для скорости 133 FPS¹, в результате видно, что пуля S с длинной хвостовой частью показывает меньшее сопротивление, чем пуля типа «Diabolo» с достаточно резко обрывающейся юбкой.

Пуля	Сила сопротивления (гран) ²	
	0.22	0.177
A	16.0	—
B	—	10.0
C	13.5	—
D	13.5	8.0
E	18.0	11.0
F	16.5	10.0
G	19.0	11.0
H	—	9.0
I	—	9.5
J	13.5	8.0
K	—	8.5
L	—	9.5
M	—	10.0
N	11.5	—
O	16.5	10.0
P	10.5	—
R	12.0	—
S	9.0	—
T	11.0	—

Позже мы провели аналогичное сравнительно исследование для больших калибров – 0.25 и 0.30 дюйма³. Цель этого исследования была не столько в изучении собственно сопротивления пуль этих калибров, сколько в возможности экспериментировать с различными формами – мы заливали пустоты в пулях или наоборот наращивали головную часть пластилином, получая, таким образом, любые новые формы, которые только хотели. Однако, для тех небольших скоростей, которые мы получали в нашей аэродинамической трубе, разница в сопротивлении была практически незаметна.

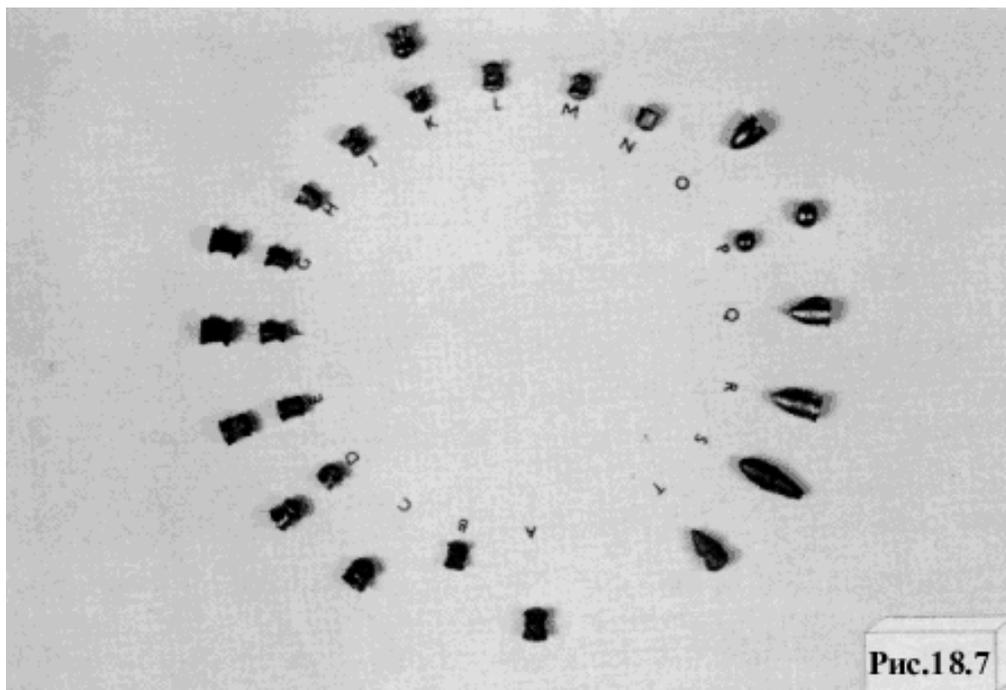
Эксперименты с использованием пуль с обтекаемой хвостовой частью показали, что, несмотря на пониженное сопротивление воздуха, их кучность всё равно оставляет желать лучшего. Таким образом, мы опять столкнулись с типичной для пневматического оружия ситуацией, где необходим поиск компромисса.

Вскоре мы сконструировали другую аэродинамическую трубу, схематически показанную на **рис. 18.8**. Она также базировалась на обычном пылесосе, но имела трубу конической формы. В итоге сброшенная сверху пуля останавливалась в некотором месте идущим снизу воздушным потоком, а место остановки пули напрямую зависело от её силы сопротивления. Регулировка скорости потока производилась с помощью изменения оборотов двигателя до тех пор, пока пуля не поднималась по трубе насколько возможно, не начиная раскачиваться.

¹ Около 40.57 м/с.

² Поскольку абсолютная величина показателей всё равно малосущественна, я посчитал ненужным нагромождать перевод величин в граммы или ньютоны.

³ То есть 6.35 мм и 7.62мм.



Изготовление конической трубы стоило нам немалых трудов и головной боли. Проблема была не только в конструкции самой трубы, но и в её размерах. В итоге последний вариант был изготовлен из прозрачного полимера, он был 12 дюймов длиной и диаметр менялся от 0.25 дюйма в самой узкой части до 0.625 дюйма в широкой части. Внешний диаметр трубы был около 1.25 дюйма¹.

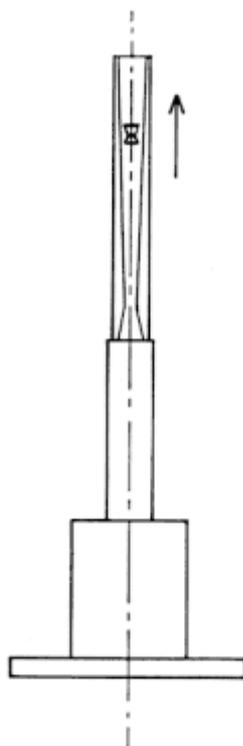


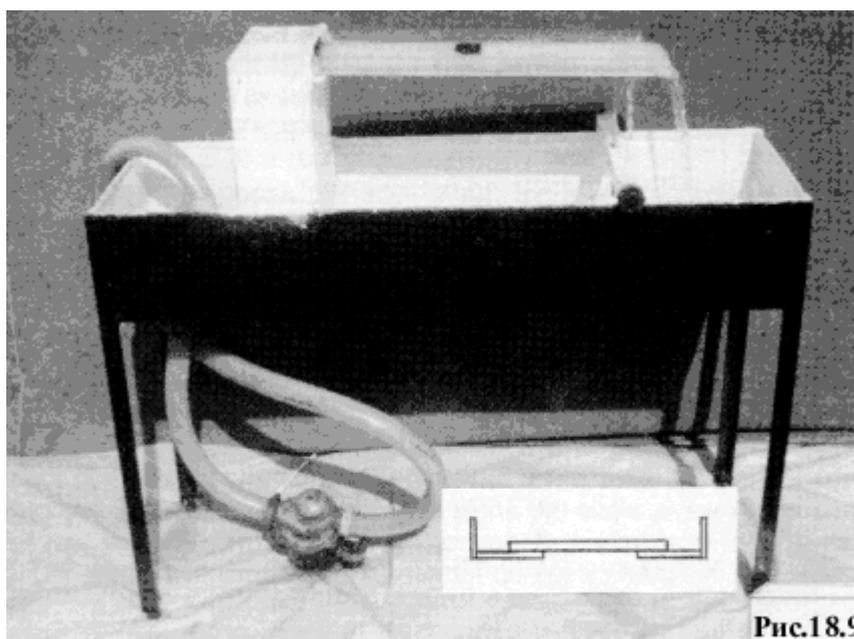
Рис.18.8

¹ Длина трубы 0.305 м, диаметр узкой части 6.35 мм, широкой части 15.88 мм, а внешний диаметр 31.75 мм.

Эксперименты с этой аэродинамической трубой показали, что пули с плоской головной частью, небольшой полостью и резко обрывающейся юбкой оказываются наиболее устойчивыми при обдуве в этой трубе. Комбинация всех вышеперечисленных факторов дают достаточно большое воздушное сопротивление, что и было продемонстрировано в предыдущей аэродинамической трубе. С другой стороны, более обтекаемые пули колебались вверх и вниз, зачастую поворачивались набок и даже вверх тормашками. Вполне понятно, что если центр воздушного сопротивления находится перед центром масс, то такая пуля будет кувыркаться в нашей аэродинамической трубе, и такая пуля достаточно бесполезна при стрельбе, пока её не раскрутит нарезной ствол. Возвращаясь к пулям в форме волана, нетрудно заметить, что центр их воздушного сопротивления смещён достаточно далеко назад из-за достаточно большой хвостовой части, а центр тяжести находится впереди. В итоге такая пуля летит стабильно даже без использования гироскопической стабилизации из-за закрутки нарезным стволом.

В то же время можно проводить дополнительные эксперименты с существующими пулями, изменяя их форму с помощью пластилина или другого формовочного материала, правда, следует помнить, что такие довески изменяют не только обтекаемость, но и центр тяжести пули, что также влияет на положение пули в трубе. Кроме того, можно просто с нуля изготавливать пули любых форм и тестировать их в аэродинамической трубе.

Водный стенд.

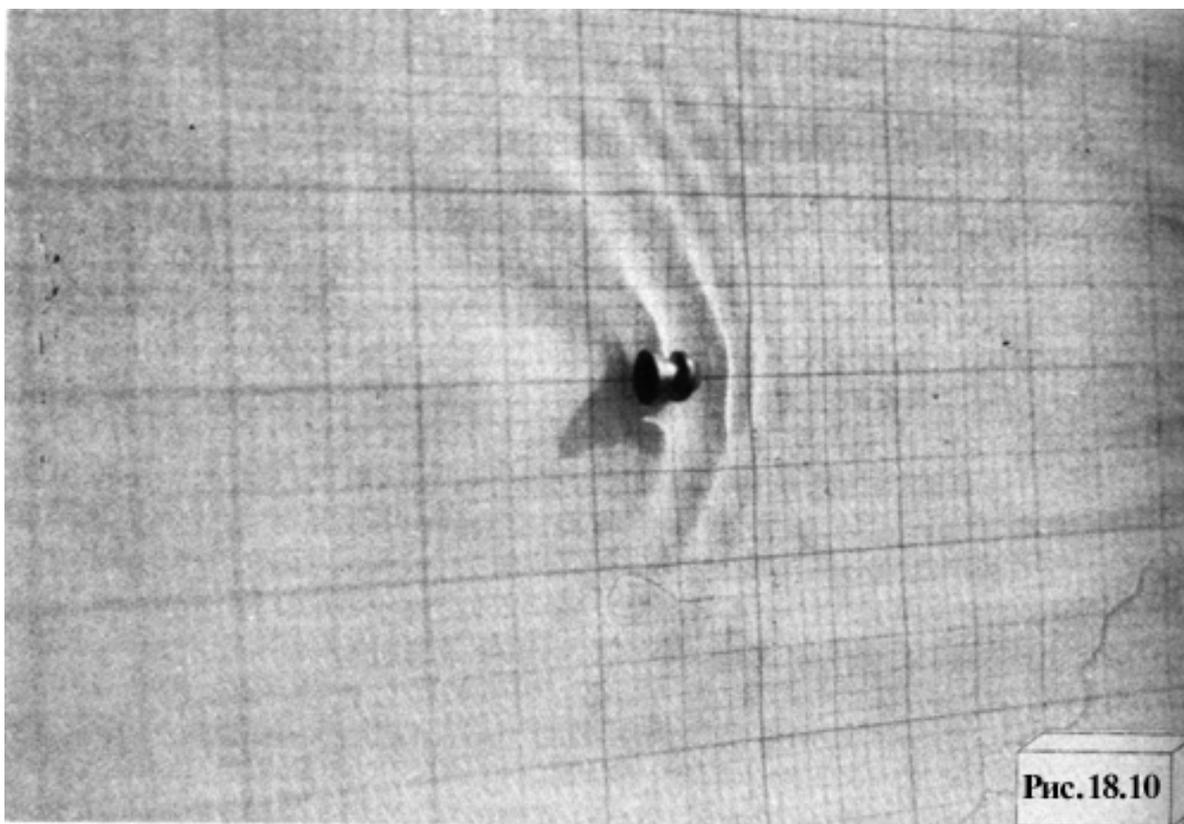


Противоречивые характеристики, полученные из предыдущих экспериментов, заставили нас сконструировать специальный водный стенд, в надежде лучше понять процесс обтекания пули воздушным потоком. Получившаяся в итоге конструкция показана на **рис. 18.9**: на полу находится насос, обеспечивающий циркуляцию жидкости. Он забирает воду из нижнего резервуара и поставляет её в верхний резервуар, откуда вода стекает равномерным потоком по плоской плексигласовой поверхности, образуя на ней поток одинаковой глубины. Небольшая вставка на основной картинке показывает с торцевой стороны плоскость, по которой течёт поток. Кроме всего прочего поток не образует случайных волн или отражений от стенок. Выходная мощность насоса регулируется, также как и наклон поверхности стекания, комбинация этих двух факторов

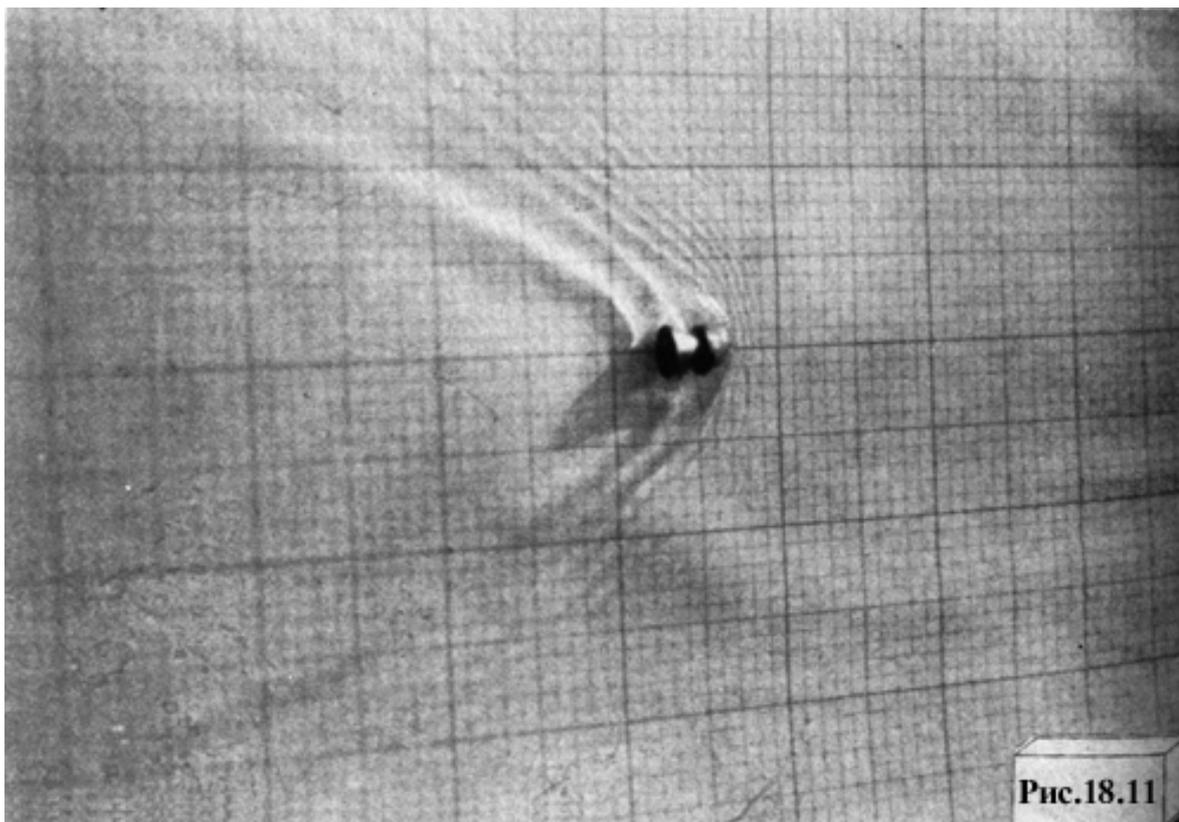
позволяет получить достаточно заметные волны на воде, которые подобны волнам воздуха при обтекании пули.

Поскольку вода имеет большую плотность, чем воздух, то подобные исследования обтекания тел водой можно проводить на заметно меньших скоростях, чем в случае исследования обтекания тех же тел воздухом. Таким образом, можно проводить эксперименты, для изучения картин обтекания пули воздухом, как на дозвуковых скоростях, так и на сверхзвуковых скоростях. И весь этот диапазон скоростей легко получается изменением наклона поверхности стекания (то есть, регулируя скорость потока воды) и соответствующей регулировкой насоса, чтобы компенсировать повысившийся расход воды.

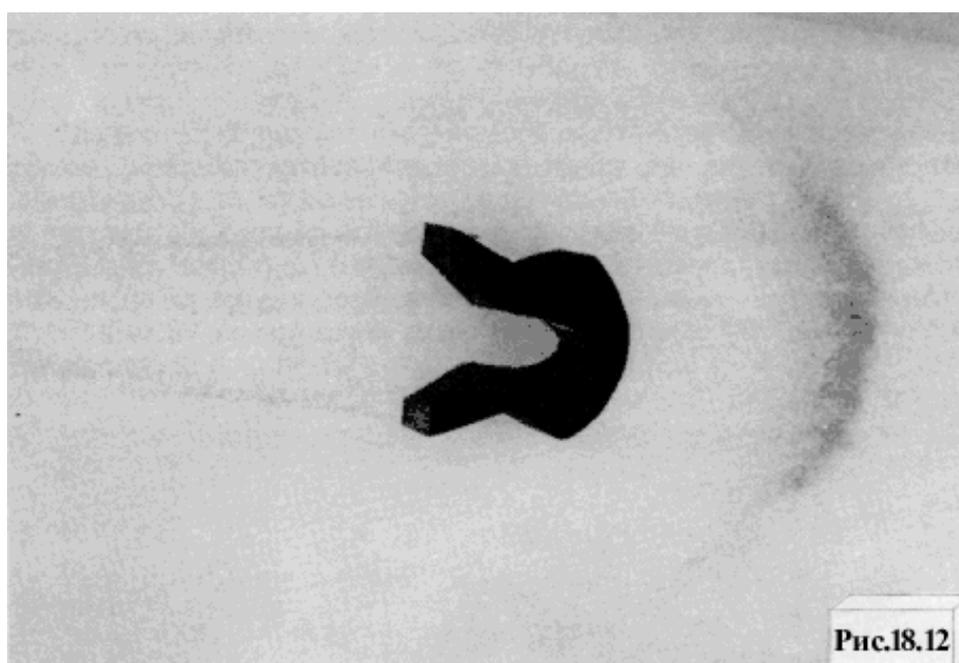
Обтекание пули водой, соответствующее полёту на дозвуковой скорости, показано на **рис. 18.10**. Как видно, наибольшее количество волн образуется перед головной частью пули, и это возмущение плавно расходится по сторонам, порождая новые возмущения в окружающем пространстве и постепенно затухая по мере удаления от источника возмущения. Тем не менее, формирование этих волн требует затрат энергии, таким образом, пуля теряет свою кинетическую энергию и эта потеря обычно называется «лобовым сопротивлением».



При дальнейшем повышении скорости потока воды можно получить картину, соответствующую полёту пули на сверхзвуковой скорости (**рис. 18.11**). В этом случае волны перед пулей прижимаются практически к лобовой части пули и начинают группироваться вместе, образуя ударную волну, и, кроме того, меняется и угол расхождения волн. На скорости в 1 Мах (то есть скорости звука в воздухе) волны образуют угол ровно в 90° , но на **рис. 18.11** показан случай ещё большей скорости, при которой угол между волнами становится более острым.



Для того чтобы получить более ясную картинку волн для дозвуковой скорости полета пули, мы вырезали из толстого пластика увеличенную модель пули и поместили её в поток воды (рис. 18.12). Также в поток было добавлено небольшое количество алюминиевой пудры, чтобы лучше видеть картину обтекания пули. Эта пудра опадает на дно там, где поток замедляет свой бег, например, перед пулей, там пудра образует целую дугу перед носовой частью пули. Точно также как и при полёте пули, при увеличении скорости потока эта зона замедления прижимается всё ближе к носовой части, пока не будет превышена скорость звука и не начнётся формирование ударной волны.



При полёте пули воздух понемногу забирает её кинетическую энергию. Мы уже рассматривали подробно лобовое сопротивление пули, но на дозвуковых скоростях, которые в большинстве случаев встречаются в пневматическом оружии, большее значение имеет не лобовое, а торцевое сопротивление. Практика показала, что на дозвуковых скоростях на потерю энергии пульей влияет не столько лобовое сопротивление, то есть обтекание её головной части, а торцевое, то есть обтекание её хвостовой части. Дело в том, что воздух не может достаточно быстро заполнить «пустое пространство» позади расширенной юбки пули и получается, что при полёте пулю как бы немного «засасывает» назад.

Кроме того, существует ещё и так называемое поверхностное трение. Когда пуля движется в воздухе, её поверхность «цепляется» за тонкий слой окружающего воздуха, который движется медленнее пули, и пытается его разогнать до своей скорости, тот слой в свою очередь влияет на следующий, ещё более медленно двигающийся слой и так далее. Разумеется, всё это влияет на потерю энергии пульей, поскольку эта энергия начинает расходоваться на разгон окружающего пулю воздуха. Судя по всему, на дозвуковых скоростях это третья по величине составляющая общей силы сопротивления воздуха, после торцевого и лобового сопротивлений.

Обтекание пули потоком воздуха усложняется по мере утончения «тали» пули. При таком утончении возможно появление турбулентностей в потоке. В одном из экспериментов мы наблюдали, как мелкие частицы грязи в водном потоке попадали в зону такой турбулентности и начинали крутиться на месте, как юла, в образующемся водовороте.

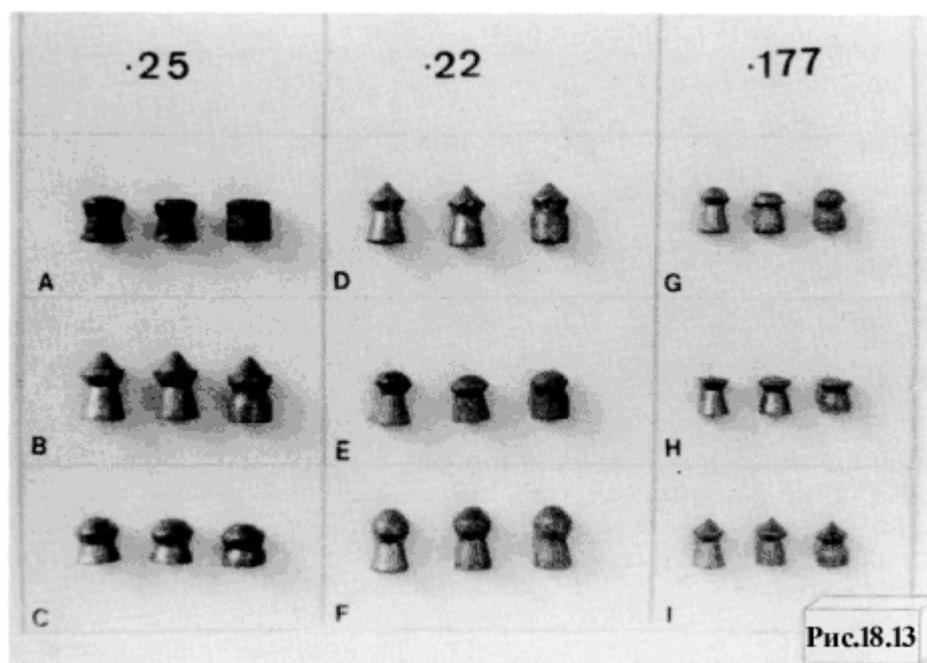
Тест на разрушение.

Одним из методов изучения пули, который мы использовали ещё в самом начале нашего исследования, является тест на разрушение. Смысл его заключается в стрельбе из винтовки по толстой стальной пластине, расположенной на разных расстояниях от дульного среза, до тех пор, пока пуля попадала в эту пластину. Информация, получаемая по деформации пули при попадании, может быть весьма интересной и многое рассказать о том, как пуля летела перед попаданием в пластину, в каком направлении, с какой энергией. Правда, для получения такой информации необходим богатый опыт и вдумчивое размышление над результатами деформации, но при приложении соответствующих усилий, старания и затрат времени результат получается весьма информативный. Однако, требуется осторожность при проведении этого теста, в частности, крайне рекомендуется пользоваться стрелковыми очками, во избежание травм глаз отлетающими кусочками свинца или случайным рикошетом.

Деформация пули.

Весьма существенным для пневматического оружия является вопрос: «Пуля на выходе из ствола имеет такую же форму, как и при закладывании в казённый, или нет?». Чаще всего ответом будет «Нет», особенно для больших скоростей. Зачастую большим давлением при выстреле расширяется юбка пули, что также весьма существенно влияет на её характеристики при полёте, особенно на больших скоростях.

На **рис. 18.13** хорошо видно, что происходит с пулями, когда они ускоряются в стволе. Для каждого типа пули представлено три образца. Первый образец – пуля, которой ещё не стреляли. Следующая пуля отстреляна с помощью нашего «компрессионного метателя». И третья пуля отстреляна, используя пружину и цилиндр, через тот же метатель. В последних двух случаях (для пневматического и пружинно-поршневого оружия) использовался один и тот же ствол.



Изучение этих пуль и скоростей их вылета показало, что никакие два разных типа пуль не ведут себя одинаково. Пуля А полностью деформируется при выстреле из «пружинно-поршневого метателя», хотя ещё выдерживает давление «компрессионного метателя». Пуля В демонстрирует разумную деформацию для случая пружинно-поршневого оружия и почти незаметную для случая компрессионного оружия, хотя скорость в последнем случае заметно выше. В общем случае выходит, что пружинно-поршневое оружие вызывает большие деформации пуль, чем компрессионное. Кроме того, следует отметить, что весьма заметные деформации хвостовой части пуль наблюдаются и в случае использования воздушных патронов. Дело в том, что в них пуля располагается практически рядом с выпускным клапаном и получает сильный удар сжатым воздухом при открытии клапана.

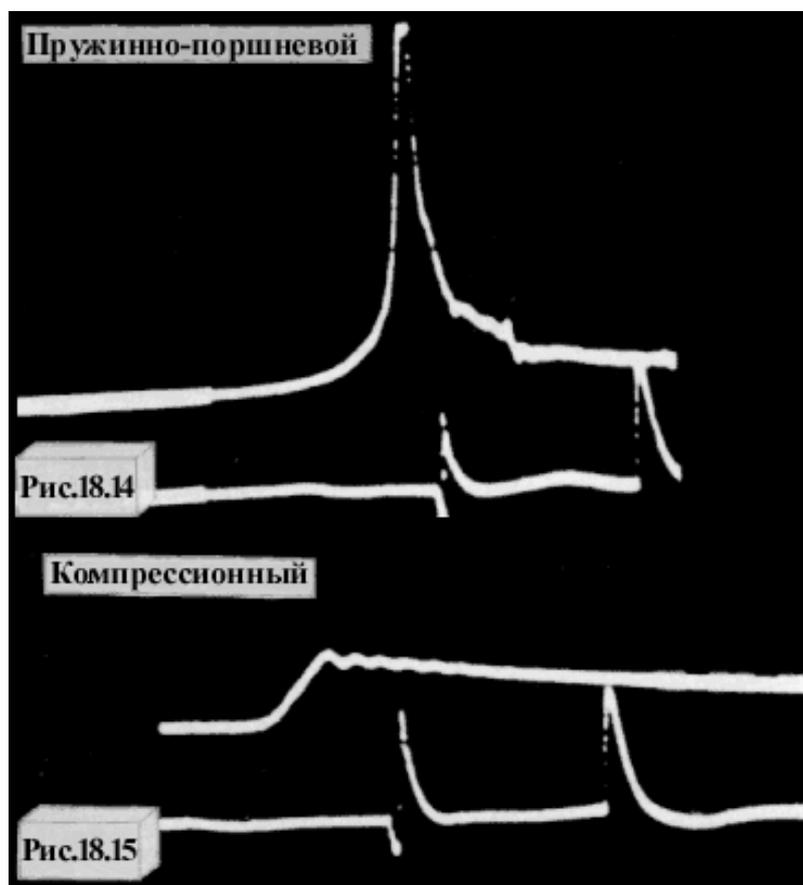
Подробные результаты испытаний приведены в таблице ниже¹.

Пуля	Калибр (дюймы)	Вес (гран)	Компрессионная пневматика		Пружинно-поршневая пневматика	
			Скорость (FPS)	Энергия (Ft·lbs)	Скорость (FPS)	Энергия (Ft·lbs)
A	0.25	18.8	760	24.0	736	22.6
B	0.25	27.5	675	27.8	478	13.9
C	0.25	17.6	779	23.7	660	17.0
D	0.22	16.5	901	29.7	620	14.1
E	0.22	14.2	970	29.6	860	23.3
F	0.22	23.4	1051	57.4	580	17.5
G	0.177	8.5	1263	30.1	800	12.1
H	0.177	7.6	850	12.2	850	12.2
I	0.177	8.2	1023	19.1	930	15.7

Величина раздутия юбки пули зависит от многих факторов и в первую очередь, от твёрдости свинца и от быстроты ускорения пули. Осциллограммы (рис. 18.14), полученные при выстреле одной и той же пули из разных типов пневматики, показывают, что для пружинно-поршневой пневматики, работающей в фазе *combustion*, есть

¹ Поскольку абсолютные показатели здесь не важны, а интересно лишь соотношение, я не стал загромождать таблицу дополнительными столбцами и переводить все числа в систему СИ.

кратковременный всплеск большого давления. В то же время для компрессионной пневматики (рис. 18.15) давление заметно ниже, но зато оно держится большее время, что свидетельствует о большой скорости вылета пули.



Нас также интересовал вопрос, насколько деформация пули в стволе влияет на её полётные характеристики и кучность. Для проверки мы аккуратно деформировали несколько разных пуль в стволе с помощью масляного насоса, имитируя деформацию воздушным давлением. Полученные пули продемонстрировали плохую устойчивость как в аэродинамической трубе рис 18.8, так и на стенде с рис. 18.5. Разумеется, кучность таких пуль также заметно понизилась, по сравнению с недеформированными образцами.

Очевидно, что пули на рис. 18.13 должны были быть остановлены очень аккуратно, чтобы не привнести новых повреждений к тем, которые образуются при проходе ствола. Проблема корректной остановки пуль была решена следующими способами: если нужно улавливать много пуль для длительного исследования, то разумно использовать обычное пищевое желе, которое готовится почти как обычно, только количество желатина используется в два или три раза больше, чем всегда. Полученная смесь заливается в обычную пластиковую бутылку из-под газировки, заполняя её на три четверти. После застывания желе бутылка срезается, получаем продолговатый кусок желе, в который можно отлично отстрелять пули. Идеальным случаем является слегка окрашенное желе, например, лимонное, в котором пулю легко найти и легко извлечь, используя пинцет.

В случае, когда надо поймать одну или две пули и нет желания возиться с изготовлением желе, можно воспользоваться другим способом, предложенным одним из любителей пневматики – взять пластиковую трубу, диаметром около трёх дюймов и

длиной около двух футов¹, заполнить её пластиковой ватой, которая обычно продаётся как материал для набивки диванных подушек. Хлопковая вата не подойдёт, поскольку её волокна достаточно короткие и недостаточно прочные для остановки пули. Правда, в таком приспособлении сложно искать пулю, но зато использовать его можно практически вечно, а желе начинает распадаться через несколько дней.

Закрутка.

Бытует мнение, что пуля склонна двигаться по спирали, подобной штопору. Мы никогда не рассматривали такое предположение всерьёз, поскольку если это так, то точное попадание пули в цель было бы возможно только в одной точке траектории. Позже возникло предположение, что спиральное движение пули не более чем иллюзия, возникающая из-за того, что после вылета пули винтовка вместе с прицелом несколько качается, создавая иллюзию криволинейного движения пули. Тем не менее, мы решили проверить «феномен спирали», поскольку если он всё же присутствует, то у серьёзного пневматического оружия перспективы развития становятся весьма печальными.

Для начала мы протянули толстую нейлоновую леску от точки, чуть выше дула нашего метателя, до средней точки попадания группы выстрелов. Потом с помощью специальных регулируемых «дуг» подвесили несколько кусков тонкой рисовой бумаги на равных интервалах от дульного среза до мишени, на каждом листе бумаги была нарисована вертикальная линия, которая была выровнена так, чтобы проходить точно под натянутой леской. Таким образом, мы смогли проследить траекторию вылетающей пули. Эксперименты показали, что все выстрелы, кроме одного, прошли ровно по прямой линии, от начала и до конца. Единственный выстрел отклонился от этой прямой, но он отклонился с самого начала и тоже выдержал ровное направление, но не совпадающее с линией предыдущих выстрелов. В общем, классическая «дура».

Мы проводили подобный эксперимент и для более дальних дистанций, и заключение также было отрицательным – видимо, «спиральный феномен» не более чем миф. Тем не менее, стоит отметить, что если пуля имеет плохую балансировку, то она может описывать в полёте незначительную спираль вокруг своего центра масс, да и то диаметр спирали будет очень маленьким, в масштабах размеров самой пули. Правильно изготовленная пуля должна лететь ровно и очень неприятно, когда вдруг возникают необъяснимые «дуры», которые невозможно объяснить и которые портят всю картину эксперимента. Однако, если таких «дур» набирается несколько, то это уже повод задуматься либо о качестве пуль, либо о правильности постановки эксперимента, то есть надо ответить на вопрос: «Что является причиной таких отрывов?».

В наших экспериментах по выявлению направления полёта пули мы использовали рисовую бумагу, которую часто используют в супермаркетах как подкладку под пирожные и прочую выпечку. Отличие рисовой бумаги от обычной в том, что рисовая бумага не имеет волокон и, по сути, напоминает высушенное картофельное пюре. В общем-то, сейчас она и делается из картофеля, а не из риса. В итоге при пробитии такой бумаги пулей, кусок перед пулей рассыпается в пыль, а в бумаге остаётся ровное и чистое отверстие. Отсутствие в рисовой бумаге волокон гарантирует, что пуля не будет отклоняться от своей первоначальной траектории, хотя бумага и будет оказывать небольшое сопротивление при пробивании, но скорость пули при этом практически не меняется.

Также нас интересовал вопрос, почему пули теряют кучность на дальних дистанциях. Одно из предположений было, что они быстро теряют свою закрутку,

¹ То есть диаметр примерно 7.62 см, а длина около 61 см.

быстрее чем поступательную кинетическую энергию, то есть пуля перестаёт вращаться ещё до того, как попадает в мишень, что отрицательно сказывается на кучности.

Это предположение было опровергнуто в ходе следующего эксперимента. Из стержня обычной шариковой ручки с помощью распрямлённой скрепки было вынуто немного чернил, и эти липкие чернила были нанесены на одну сторону передней части пули. После этого пуля была отстреляна из винтовки на дальнюю дистанцию, в конце которой были расположены два листа обычной бумаги, на расстоянии, примерно равном половине оборота нарезов в стволе. Отпечатки чернил на двух отверстиях были смещены почти на 180°, что доказало наличие вращения пули даже на дальней дистанции, поскольку если бы вращения не было, то отпечатки от чернил должны были бы остаться примерно на одном и том же месте на каждом из отверстий.

Пожалуй, одним из наиболее проблемных вопросов при тестировании пуль или оружия является вопрос, где проводить тест. В случае с пневматикой желательнее найти длинный закрытый коридор с крышей, чтобы не было ни боковых сквозняков, ни других посторонних воздействий. К сожалению, найти подходящий по длине ангар или заброшенную фабрику весьма непросто. Мы же решили этот вопрос для себя просто и изящно – у нас оказался длинный кусок полиэтиленовой плёнки в виде трубы, диаметром почти в четыре фута¹. Мы герметично закрыли один конец трубы с помощью липкой ленты и сделали открывающуюся заглушку на другом её конце, чтобы можно было войти и выйти. В итоге мы просто помещали в трубу мишени и винтовки, а затем надували её с помощью обычного пылесоса. Получался простой переносной тир, в котором внешние влияния были сведены к минимуму. Единственная проблема – эту трубу стоит размещать около стены или забора, иначе она начинает изгибаться при более-менее сильном боковом ветре.

¹ То есть 1.22 метра.

Глава 19.

Полёт пули.

В главе, посвященной стволу, мы уже упоминали о том, что дульная часть ствола является, пожалуй, наиболее важной его частью с точки зрения кучности, поскольку именно она задаёт направление полёта пули относительно линии прицеливания. Кроме того, мы провели многочасовые исследования, пытаясь выяснить, как ведёт себя пуля при прохождении дульного среза, и какие факторы на неё влияют в этот момент.

Искровая фотосъёмка.

Нашим основным инструментом для исследования процесса вылета пули из ствола служила «Искровая фотосъёмка». Хотя при её использовании результатом является лишь силуэт или тень пули, это не имеет большого значения для нашего исследования, куда важнее, что на полученной картинке видны потоки воздуха, которые оказывают основное влияние на баллистику пули. Первый раз нас познакомил с этой техникой исследования Mr. C.V.Daish во время нашего визита в Королевский Военный Научный Колледж в Шривенхеме, в Уилтшире¹ и эта техника оказалась бесценной в процессе исследования полёта пули.

Устройство искровой фотографии генерирует мгновенную и очень яркую вспышку с помощью высоковольтного разряда, который, условно говоря, «замораживает» пулю в процессе полёта. Неэкспонированная плёнка располагается за пулей, на расстоянии нескольких дюймов, а искра возникает перед ней, на расстоянии нескольких футов. Мы использовали инфракрасный датчик для запуска искровой фотографии. Датчик располагался или прямо на дульном срезе ствола, или даже спереди и снизу от дульного среза, направленный под углом внутрь ствола, чтобы зафиксировать пулю на подходе, в нескольких дюймах до дульного среза. И, кроме того, использовались электронные задержки, чтобы получить съёмки пули на нужном удалении от пересечения её инфракрасного луча датчика. С помощью такой конструкции мы могли получить фотографию пули на любом интересующем нас участке траектории её вылета из ствола. В целом процесс несложный, трудности возникают лишь при работе с этим оборудованием, поскольку чтобы не засветить плёнку приходится работать в темноте. Чтобы облегчить себе работу мы нанесли светящиеся пятнышки на основные части конструкции, чтобы хоть немного различать их в темноте.

В ходе первых экспериментов, проведённых ещё до выхода в свет книги «The Airgun from Trigger to Muzzle», то есть до 1976 года, мы получили картинки вылета пули из ствола пружинно-поршневой винтовки, в этом случае вылет пули всегда сопровождался впечатляющим количеством ударных волн. Кроме того, мы проверили, как вылетают дротики и были сильно удивлены тем фактом, что ударных волн при вылете дротика не было и вообще избыточной энергии воздуха за дротиком практически не наблюдалось. Мы решили, что дело в оперении дротика, которое обжимается воздушным потоком и не обеспечивает полной герметизации ствола, позволяя воздуху проходить вперёд. До этого мы считали, что наличие ударных волн является признаком энергии расширяющегося воздуха, а сам расширяющийся воздух должен раздувать оперение дротика вперёд. После проведённого эксперимента мы смогли предположить, что ударные волны возникают в первый момент выстрела и дальше распространяются вместе с пулей вдоль ствола, постепенно затухая со временем.

Когда мы начали эксперименты с фотографированием пуль, вылетающих из ствола компрессионной пневматики, мы были несколько разочарованы тем, что картина получалась гораздо менее зрелищная, чем при фотографировании вылета пули из

¹ Оригинал названия этого заведения: «Royal Military Colledge of Science at Shrivenham in Wiltshire».

пружинно-поршневой пневматики. Каждый раз расширяющийся воздух выглядел в виде разрастающегося пузыря, а единственный фактор, влияющий на размер этого пузыря, это давление в стволе за пулей. Тем не менее, когда мы стали экспериментировать с дротиками, особенно на больших скоростях, мы, наконец, сумели увидеть то, что давно ожидали – явное раздувание оперения дротика потоком воздуха (**рис. 19.10**). Даже на небольших скоростях оперение дротика немного раздувалось, но наиболее заметным этот эффект становился лишь при больших скоростях. Насколько долго оперение дротика сохраняется в развёрнутом состоянии мы выяснить не смогли, поскольку наша установка позволяла нам фотографировать вылетающую пулю на расстоянии до восьми дюймов¹ от дульного среза ствола; хотя нам кажется, что вероятная дистанция примерно 12-18 дюймов², в зависимости от скорости вылета дротика.

Ещё один интересный сюрприз мы обнаружили совершенно случайно. Мы уже говорили о том, что при вылете пули из ствола она может немного рыскают, перед тем как пойти в нужном направлении, однако, на множестве экспериментов с фотографированием пуль мы этого не встречали до одного момента, который отображён на **рис.19.13**. Сначала мы даже думали, что это просто одна из непредсказуемых «дур», но после внимательного осмотра ствола поняли, что это не так. Дело в том, что этот ствол мы уже использовали для другого эксперимента и рассверлили дульную часть, а что ещё хуже, в эту полость немного выступал винт крепежа хронографа, что в итоге обеспечило такой достаточно стабильный и заметный разброс пуль. Когда мы сказали о нашем наблюдении эксперту баллистику, он ответил, что подобный метод нередко используется при проектировании военных патронов, чтобы проверить, как будут себя вести патроны, но не из идеальной тестовой партии, а с поправкой на неточности изготовления.

Далее идёт ряд отобранных фотографий из множества сделанных нами за годы исследований. Эти исследования дали нам огромную информацию, позволили проследить поток воздуха не только на выходе из дула, но и на протяжении первых нескольких дюймов полёта пули. К сожалению, мы не смогли одновременно замерить кучность в зависимости от дистанции, поскольку это потребовало бы наличия темного многометрового тоннеля.

Рис. 19.1. В ходе первых экспериментов мы были удивлены появлением таких пузырей из ствола до вылета пули. Однако вскоре выяснили, что это просто продукты сгорания смазки от предыдущего вылета и продувание ствола перед каждым выстрелом снимает эту проблему.



Рис. 19.2. Дротики оказались очень полезным инструментом в процессе исследования воздушных потоков при вылете пули из ствола, поскольку их оперение чётко показывает направление и интенсивность воздушного потока. Эти две фотографии

¹ Около 20.32 см.

² От 30.48 до 45.72 см.

дротика, вылетающего из ствола пружинно-поршневой пневматики, показывают практически полное отсутствие избыточного давления позади дротика.

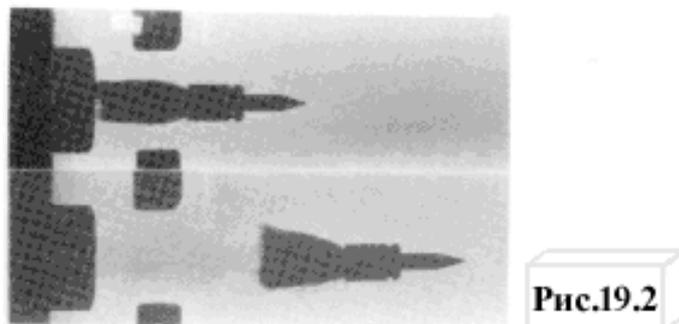


Рис. 19.3. Две пули были заряжены одновременно в компрессионную пневматику, чтобы проверить, останутся ли они вместе в стволе во время выстрела или разделятся. Наблюдаемый пузырь выходящего воздуха характерен для каждого выстрела из компрессионной пневматики.



Рис. 19.4. Для эксперимента мы зарядили дротик наоборот, оперением вперёд, для изучения воздушного потока, обтекающего дротик. Как видно, небольшое количество воздуха, вылетевшего из ствола пружинно-поршневой пневматики, движется несколько быстрее самого дротика, что и неудивительно, поскольку сам дротик тормозится своим распушившимся оперением.

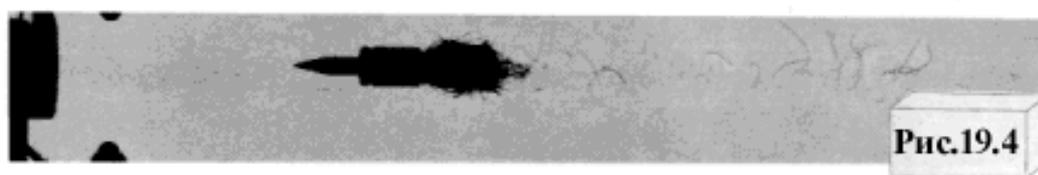
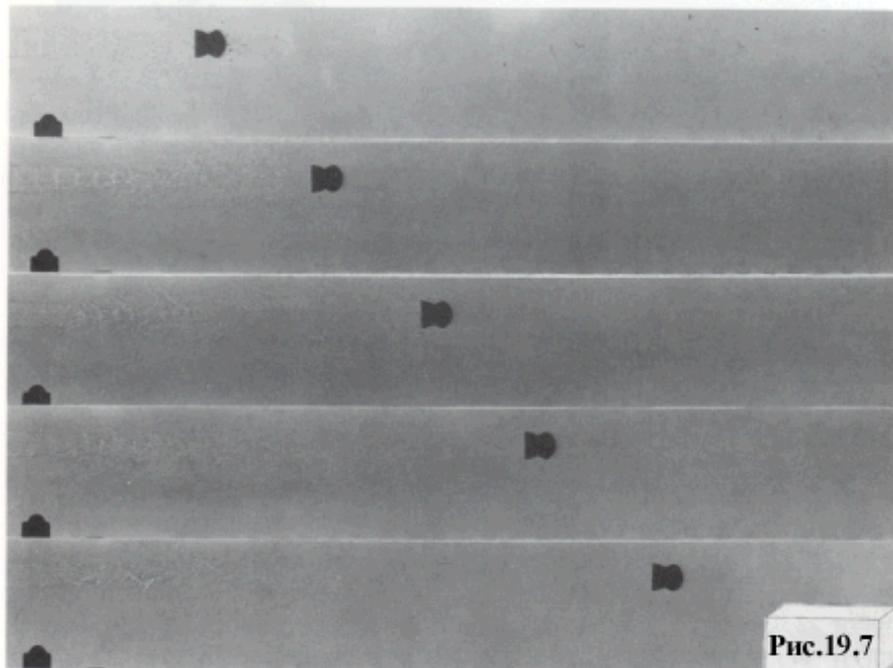
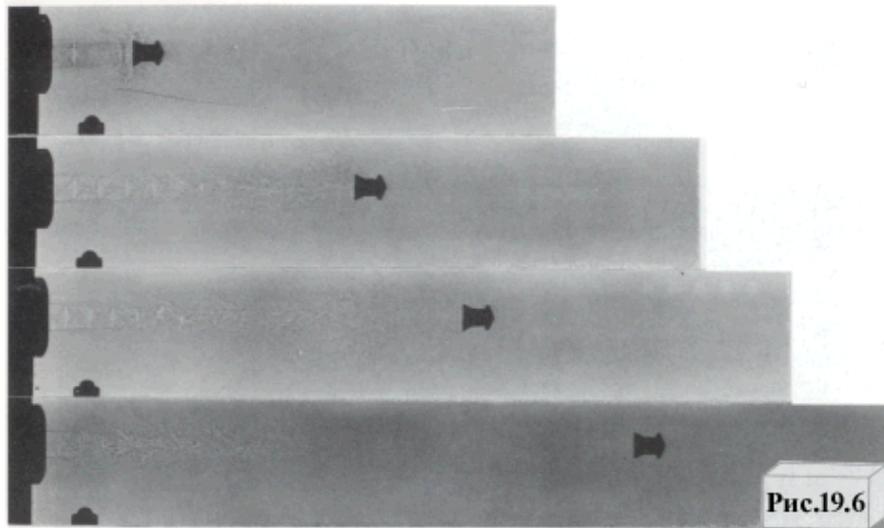
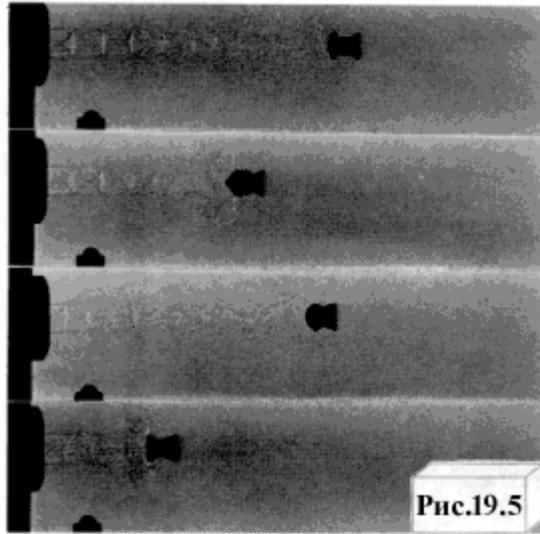


Рис. 19.5. Целый набор различных пуль, каждая из которых опять заряжена наоборот, юбкой вперёд. В каждом случае наблюдаются характерные ударные волны, исходящие из дула пружинно-поршневой пневматики, а также небольшая зона разряженного воздуха вокруг носовой части пули.

Рис. 19.6, 19.7, 19.8. На этих кадрах запечатлён процесс вылета трёх различных пуль разных форм из пружинно-поршневой пневматики. Ясно видно, что воздушный поток и ударные волны позади летящей пули постепенно уменьшаются и, в конце концов, пуля движется не сопровождаемая потоком воздуха и ударными волнами, с относительно небольшим возмущением воздуха вокруг неё.



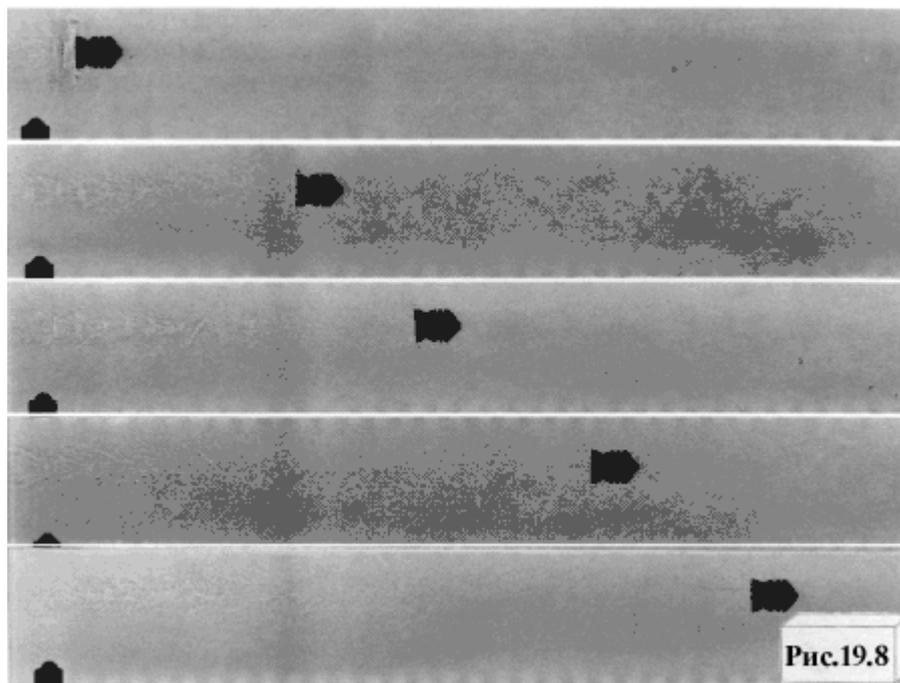


Рис. 19.9. Восемь различных типов пуль, включая шарообразную пулю, выпущенные из пружинно-поршневой пневматики. Небольшой вертикальный объект возле дульного среза – инфракрасный датчик, фиксирующий момент вылета пули и дающий команду на искровую съёмку.

Рис. 19.10. Вылет дротика из ствола компрессионной пневматики, притом с огромной избыточной энергией, видимой в форме потока воздуха за дротиком.

Рис. 19.11. Эти два кадра показывают, как воздух обтекает тело дротика, по мере вытекания воздуха из ствола, попутно выдирая несколько ворсинок из оперения и выдувая их перед дротиком. Остальное оперение дротика раздувается из-за сопротивления неподвижного воздуха быстродвигающемуся дротику.

Рис. 19.12. Подборка из шести пуль различной формы, вылетающих из ствола компрессионной пневматики.

Рис.19.13. Этот набор кадров показывает, как вылетает пуля из ствола с заметно повреждённой дульной частью и, соответственно, повышенным разбросом пуль. Хотя это и не применимо к нормальной винтовке, но специальное введение разброса является частью нормального исследования при создании, например, реактивных снарядов для армии.

Рис. 19.14. Подборка круглоголовых пуль, как они покидают ствол и двигаются по траектории. Волны, наблюдаемые перед первыми тремя пулями, по сути, просто воздух, вылетевший из ствола перед пулей.

Рис. 19.15. Ещё одна подборка пуль, подобная подборке с рис. 19.9, но на этот раз выпущенная из компрессионной пневматики.

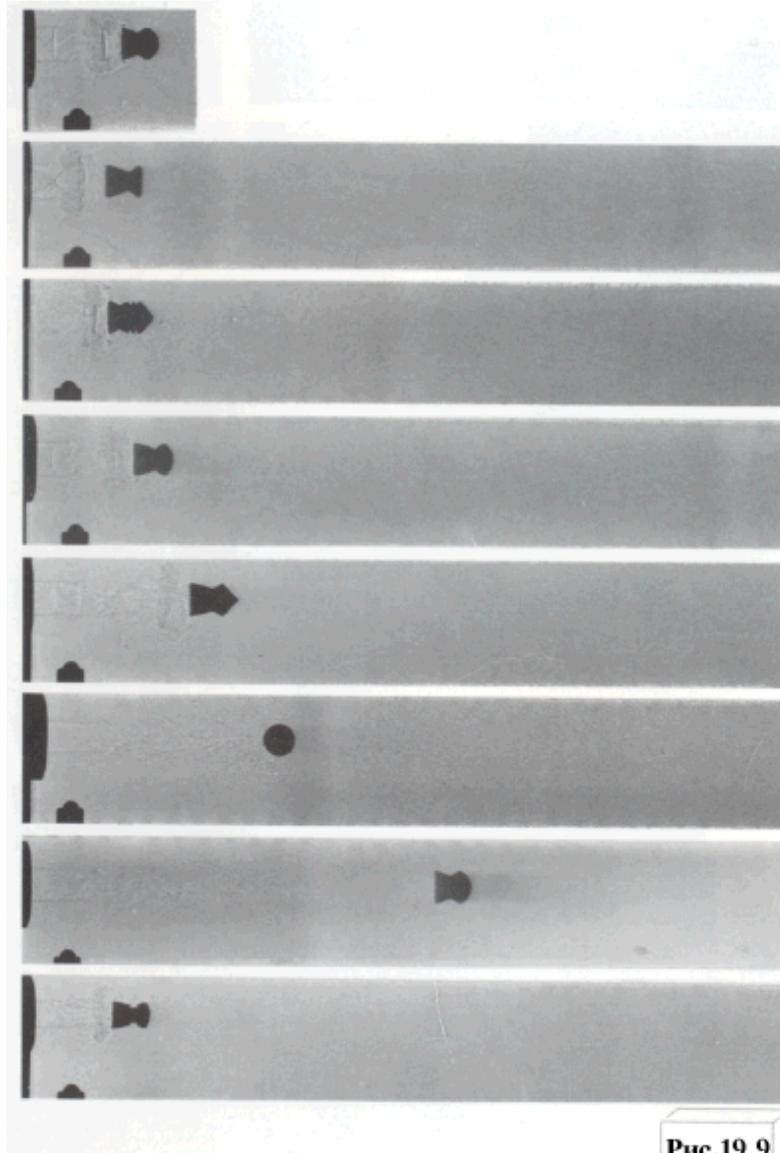


Рис.19.9

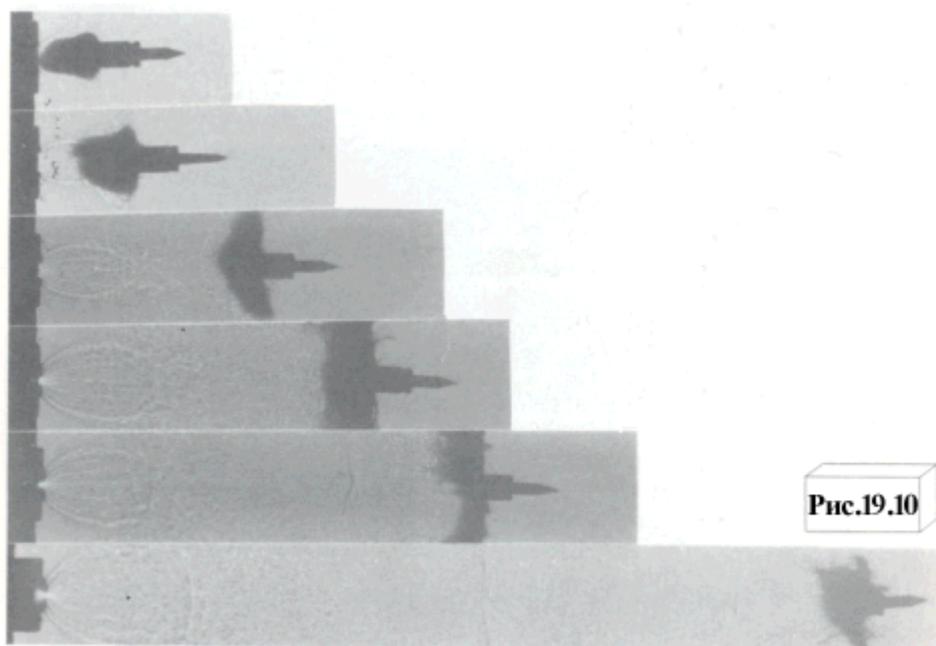


Рис.19.10

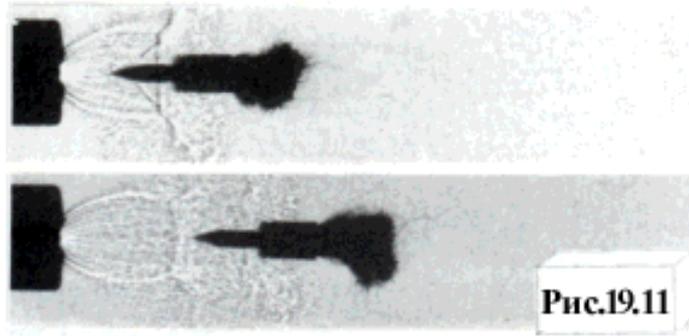


Рис.19.11

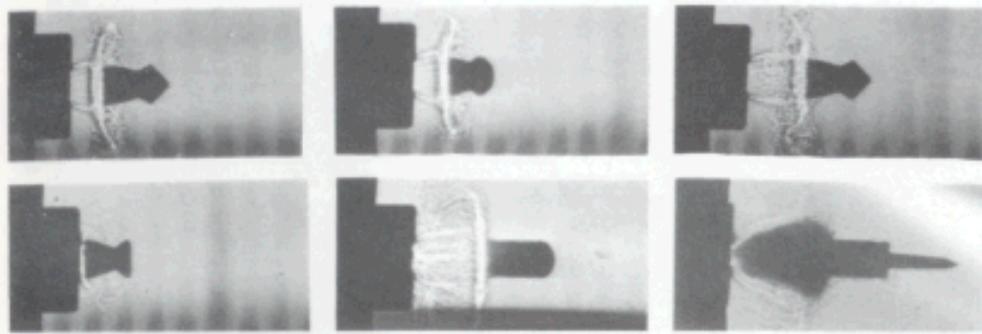


Рис.19.12

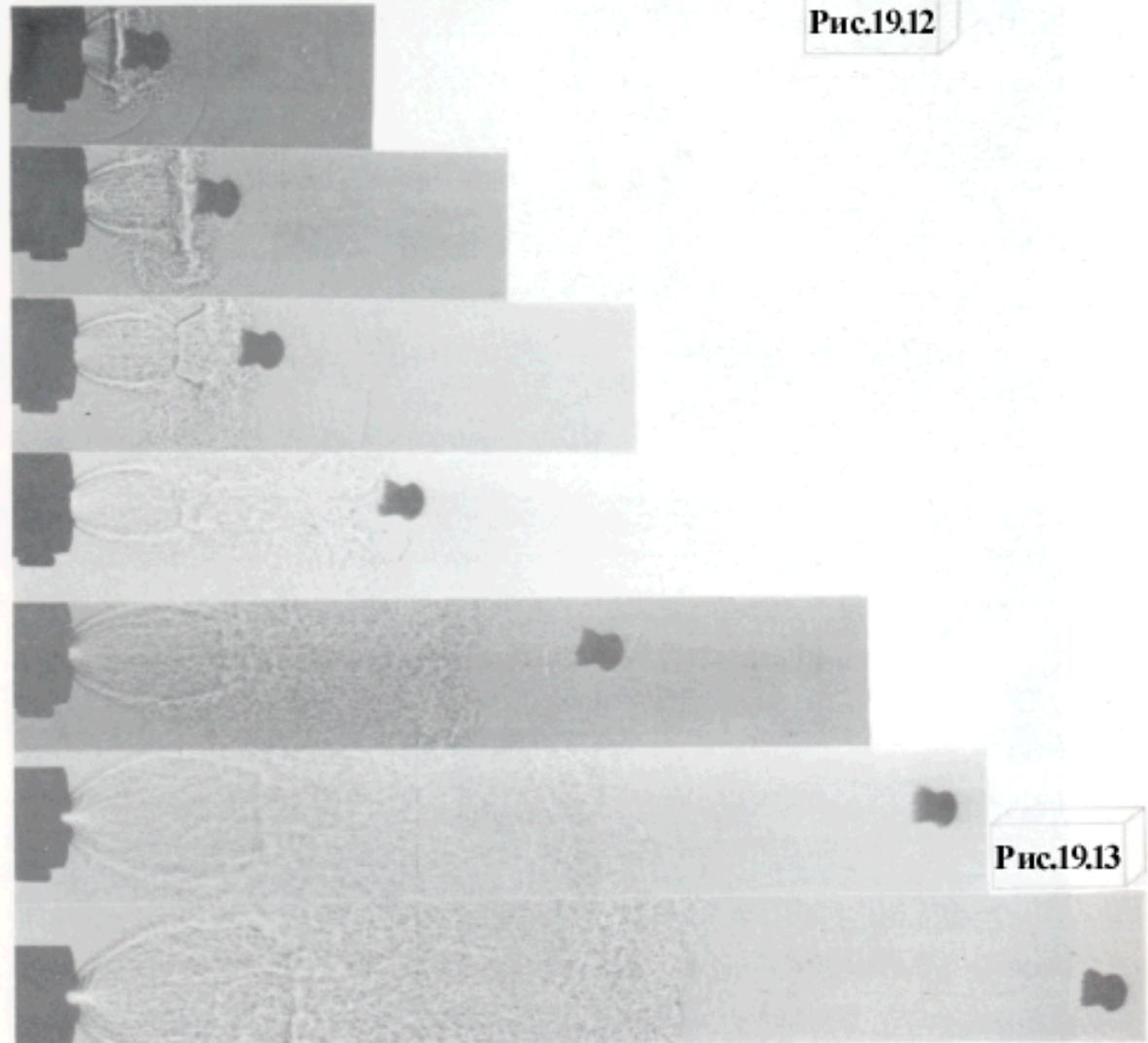
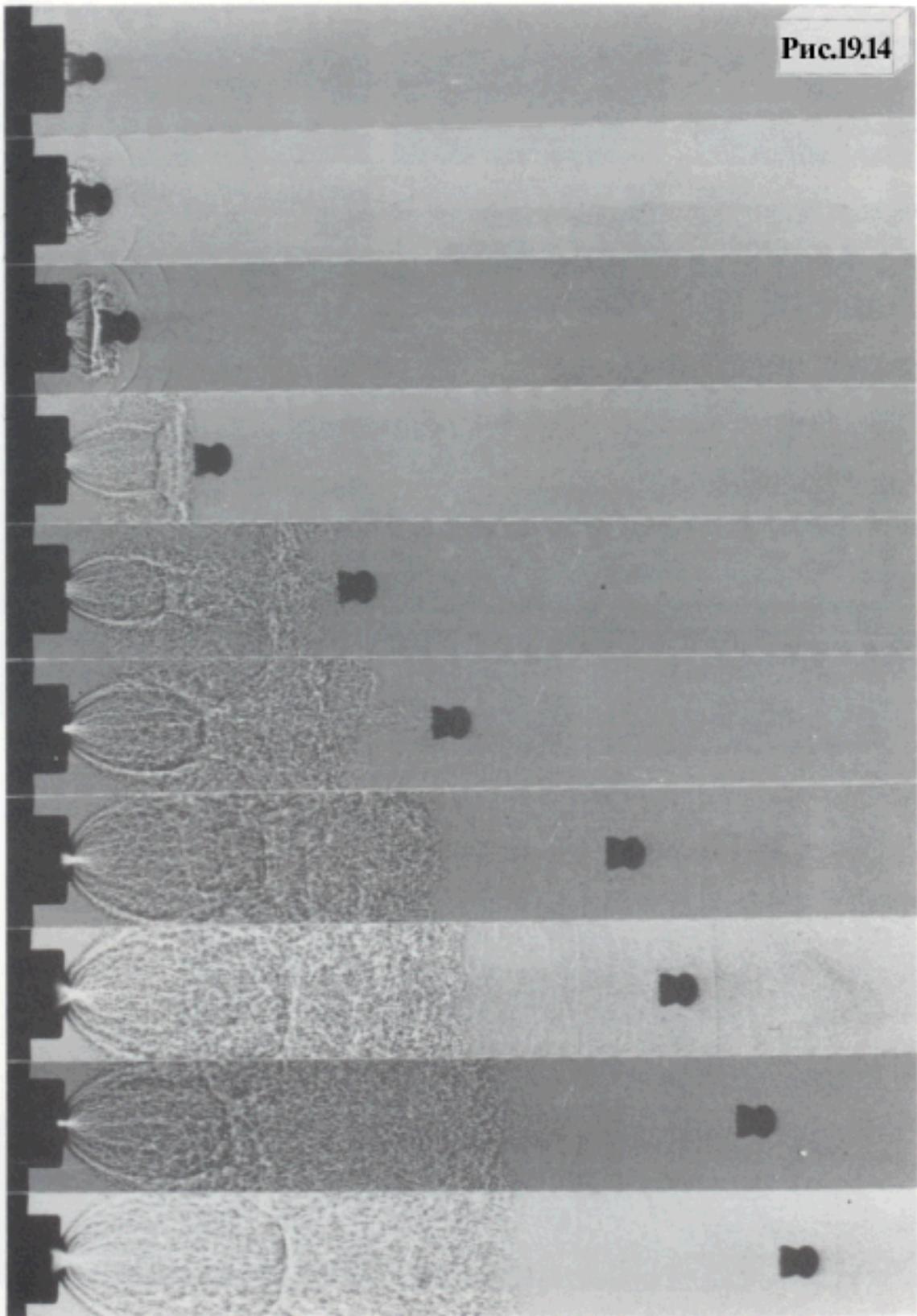


Рис.19.13



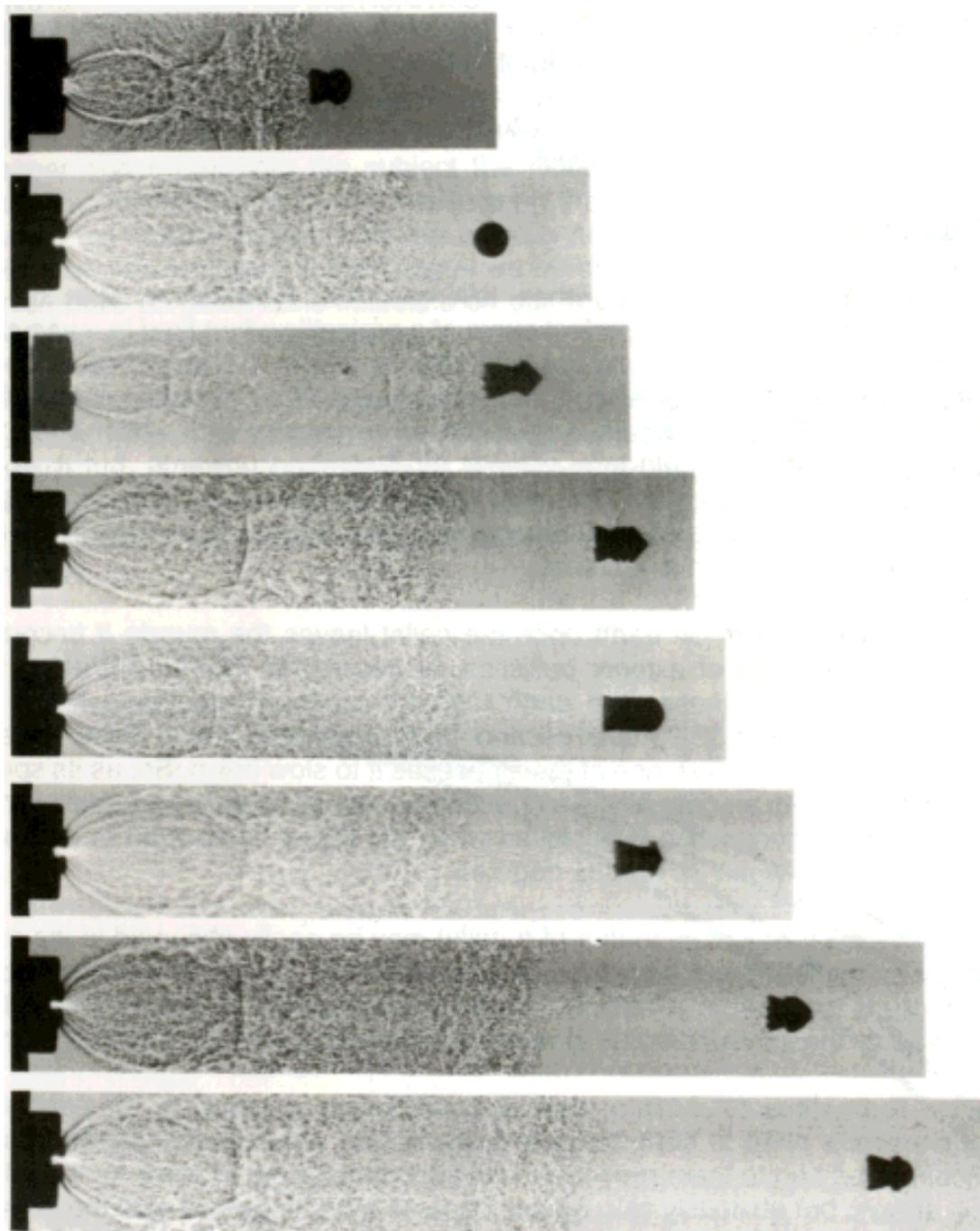


Рис.19.15

Теоретическая баллистика.

Практически в каждой книге по оружию при описании траектории сначала вспоминают про полёт идеальной пули в вакууме. При таких условиях пуля не теряет скорость из-за сопротивления воздуха, поэтому максимальная дальность полёта достигается при направлении ствола под углом 45° к горизонту. При этом пуля приземлится точно с такой же скоростью, с какой она покинула ствол. Ясно, что пуля будет терять скорость, пока она будет двигаться вверх, но потом она будет снова набирать скорость, двигаясь вниз. К сожалению, практической пользы с такой теории немного, по

крайней мере, до тех пор, пока не будет возможности пострелять, например, на Луне, в условиях вакуума.

Однако, в реальных условиях, на Земле, пуля, вылетающая из ствола, становится предметом изучения внешней баллистики. Основными силами, воздействующим на летящую пулю, являются сила земного притяжения и сила сопротивления воздуха. Сила земного притяжения заставляет пулю падать вниз с ускорением 9.8 м/с^2 , но в то же время сопротивление воздуха замедляет её движение. Таким образом, учитывая сопротивление воздуха, которое понижает скорость пули, а также силу притяжения земли, получается, что оптимальным с точки зрения дальности углом возвышения ствола над горизонтом является примерно $30\text{-}35^\circ$.

Подобную траекторию можно наблюдать на примере вылетающей из поливочного шланга воды. Она с большой скоростью вылетает из шланга, и первое время движется практически прямолинейно, но затем её внутреннее трение и сопротивление воздуха заставляют её двигаться по плавной кривой к поверхности земли.

Начало теоретической баллистики было положено ещё в незапамятные времена, когда человек начал использовать метание предметов для охоты. Но тогда это была в основном практика, просто знание, насколько выше нужно целиться, например, Робин Гуду из его лука, чтобы точно поразить цель. С появлением огнестрельного оружия такая задача стала ещё более актуальной, в частности, например, для пушечных ядер, канонирам необходимо точно знать, насколько выше надо целиться, чтобы точно поразить противника. Разумеется, появлялось множество различных теорий, описывающих процесс полёта метаемых тел. В частности, долгое время считалось, что первое время после вылета из ствола, ядро движется по прямой, потом где-то изменяет своё направление движения и падает на землю по другой прямой.

Математическое же изучение полёта метаемых тел оказалось очень объёмным, практически бесконечным процессом, который начинается с изучения полёта пуль, потом переходит на изучение полёта реактивных снарядов и далее до космических ракет. Чем более точную модель пытаются создать учёные, тем сложнее оказывается математическое описание. Соответственно, по этому предмету написано много книг и любой, кого заинтересует этот вопрос, может зайти в библиотеку и поискать там книги по теоретической баллистике. В этой главе мы ограничимся лишь теми разделами, которые оказывают заметное влияние на полёт наших относительно небольших пуль на сравнительно небольшие дистанции в воздушном пространстве.

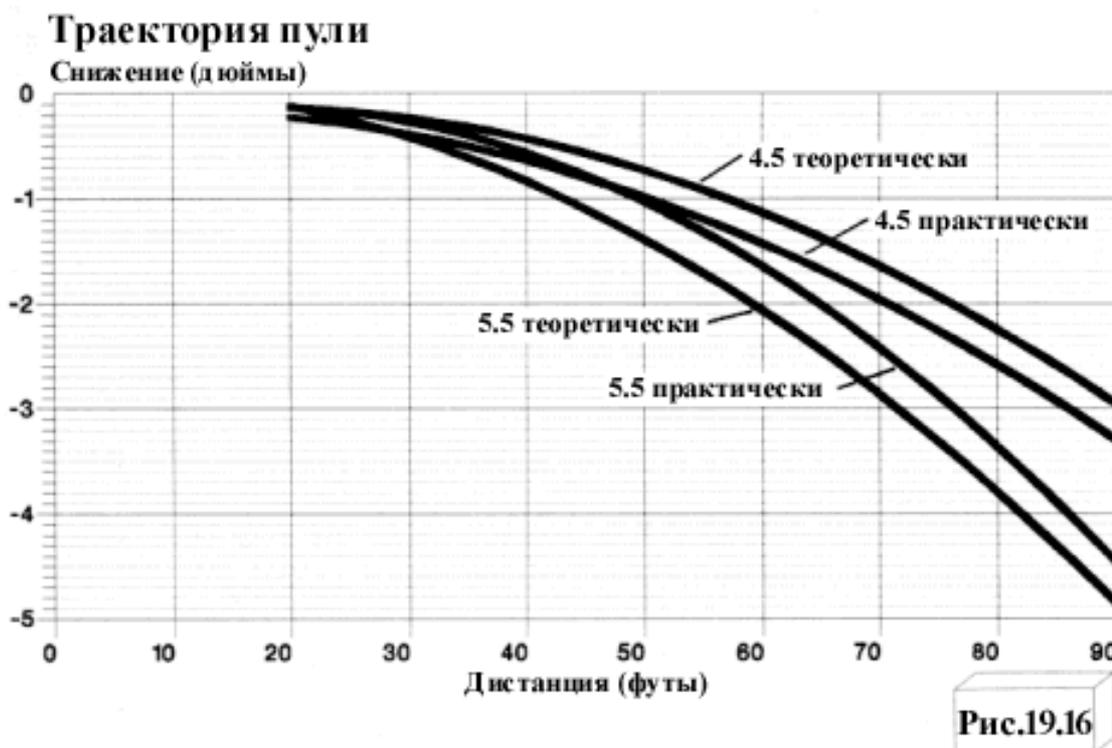
Такие параметры как вращение земли, изменение температуры, влажности и давления воздуха могут быть актуальны при стрельбе на предельно большие дистанции, но практически не влияют на стрельбу из пневматики, хотя мы всё же коснёмся немного эффекта Магнуса и сноса пули ветром, но не будем рассматривать проблемы полёта пуль со сверхзвуковой скоростью.

Одним из первых предметов нашего исследования было снижение пули. Мы провели сравнительный эксперимент, чтобы выяснить разницу между теоретическим и практическим снижением пули. В частности, мы выяснили, что при стрельбе на дистанцию в 30 ярдов пуля калибра 4.5мм снижается на 0.3 дюйма больше, чем это предсказывает теория, а пуля калибра 5.5мм – на 0.03 дюйма меньше, чем по расчётным данным¹. Пули были выпущены со скоростями 815 и 590 FPS соответственно, что обеспечивает энергетику в $12 \text{ Ft}\cdot\text{lbs}^2$ для обоих калибров. Кривые отображены на **рис.19.16**. Точной причины такого расхождения мы не выяснили, но подозреваем, что это происходит из-за некоторых особенностей форм пуль, из-за чего одни из них чуть

¹ Дистанция 27.43 м, проседание пули 4.5мм на 7.62мм больше, а пули 5.5 – на 0.762мм меньше, чем в теории.

² Скорости пуль 248.58 и 179.95 м/с, энергия 16.27 Дж.

приподнимаются, а другие чуть опускаются относительно теоретической траектории. В общем-то, это достаточно известный факт, поэтому мы не были удивлены его наличием и не проводили дальнейших исследований в этом направлении.



Причина этой разницы между отклонениями пуль не совсем такая же, как в случае резко меняющего своё направление полёта футбольного или теннисного мяча. В случае с мячом всё объясняется эффектом Магнуса, то есть из-за повышения давления на одной стороне вращающегося мяча во время его полёта. Например, если при ударе мяч будет вращаться вокруг горизонтальной оси, причём его верхняя часть будет двигаться по направлению полёта, то мяч из-за эффекта Магнуса будет подниматься, поскольку слой воздуха на верхней части мяча будет двигаться вместе с его поверхностью, создавая позади себя небольшую зону разрежения. В случае же вращения вокруг вертикальной оси, мяч будет лететь по кривой, загибающейся в ту сторону, которая соответствует стороне мяча, при вращении движущейся в направлении противоположном направлению полёта. Если понаблюдать за игрой в теннис или футбол, то такие криволинейные траектории полёта встречаются в игре довольно часто. Поскольку пуля в полёте вращается вокруг своей продольной оси по часовой стрелке, то единственное смещение, которое может образоваться от такого вращения – это небольшое смещение вправо. Все пули, стабилизируемые вращением, имеют снос в сторону своего вращения, но следует отметить, что достаточно небольшая часть сноса происходит из-за эффекта Магнуса, а основной снос происходит из-за самой гироскопической стабилизации. Например, когда пуля пытается отклониться к земле, эффект гироскопической стабилизации пытается её выправить обратно, разворачивая не только вверх, но и вправо. Соответственно, снос растёт с увеличением дистанции, поскольку большее время воздействуют силы, обеспечивающие снос, пуля получает большее боковое ускорение и больший снос.

Во время проведения экспериментов мы уделяли много внимания проверке и настройке нашего оборудования, особенно по вопросу ровного выставления ствола и мишени, поскольку достаточно трудно выставить на одном уровне ствол и мишень,

находящиеся друг от друга на расстоянии в 30 ярдов. Мы решили эту проблему, используя полупрозрачный шланг, заполненный подкрашенной водой. Убедившись в отсутствии пузырьков внутри, мы просто растягивали этот шланг между мишенью и стволом, пользуясь тем, что уровень жидкости в обоих концах шланга должен быть одинаковым. Таким образом, мы сумели очень точно выставить на одном уровне ствол и мишень.

Для экспериментов мы обычно использовали наш *компрессионный метатель*. Перед началом экспериментов нам было необходимо выставить ствол строго горизонтально. К сожалению, даже использование инженерного уровня не решало проблемы – ствол внешне мог быть полностью горизонтален, но пули из него летели куда придётся. Для решения этой проблемы мы пользовались методом прокрутки ствола. Ствол закреплялся на *компрессионном метателе*, и далее производилась серия выстрелов, после каждого ствол проворачивали на угол порядка 30°. В итоге в большинстве случаев мы получали на мишени ряд отверстий, расположенных по окружности, иногда большего диаметра, иногда меньшего, и лишь редкие стволы показывали высокую кучность, укладывая все пули в одно отверстие. После проведения такой серии выстрелов мы всегда могли повернуть ствол таким образом, чтобы точка попадания шла если и не в центр, то хотя бы на 9 часов или на 3 часа, то есть отклонялась по горизонтали, а это уже было не столь существенно в экспериментах по снижению пули.

Также мы использовали хронограф для оценки скорости и времени полёта пули, после чего могли вычислить теоретическое снижение пули в вакууме:

$$D = \frac{g \cdot t^2}{2} \cdot 12$$

здесь $g=32.2$, время в секундах, а снижение в дюймах¹.

Следует отметить, что в данном уравнении не участвует вес пули. Это происходит потому, что вес (а точнее, масса пули) не влияет на величину её снижения в условиях отсутствия сопротивления воздуха. Тяжелые и лёгкие тела в вакууме падают с одинаковым ускорением, совпадающим с ускорением свободного падения g . В частности Исаак Ньютон проверял этот факт, сбрасывая различные предметы с башни собора Святого Павла.

Небольшое отступление о весе и массе. Мы иногда говорим о весе, а иногда о массе. В повседневной жизни эти понятия весьма близки, но если, например, спутник связи, весящий на земле 1 тонну, вывести на орбиту, то там он становится невесомым. Происходит это потому, что скорость его движения вокруг Земли достаточна для того, чтобы центробежная сила полностью совпадала с силой притяжения Земли. При этом спутник не теряет ни малейшей части своей массы. Таким образом, можно сказать, что масса это то, что остаётся у тела, если убрать приложенную к нему силу притяжения Земли.

Рассмотрим ускорение на примере автомобиля. Его способность ускоряться зависит в основном от двух факторов: веса автомобиля и мощности его двигателя. Мощный двигатель на лёгком автомобиле обеспечивает великолепную динамику, а слабый двигатель на тяжёлом автомобиле – весьма небольшое ускорение. В случае падения тел гравитация является для них движущей силой, и она воздействует на тяжёлые тела сильнее, чем на лёгкие. Кто-то может подумать, что из этого следует более быстрое падение тяжёлых тел, но это не так, поскольку более тяжёлое тело из-за своей большей массы разгоняется медленнее лёгкого тела. В итоге оба тела падают с одинаковым ускорением независимо от их веса.

¹ Умножение на 12 требуется только для английской системы мер, чтобы перевести снижение из футов в дюймы. В системе СИ никакого дополнительного умножения не требуется, да и $g=9.8 \text{ м/с}^2$.

Также следует отметить, что величина g получена как ускорение свободного падения тела в вакууме и её величина незначительно варьируется в разных точках земного шара. Однако, эти различия столь малы, что с практической точки зрения не существует никакой заметной разницы в скорости падения пули в вакууме в любой точке земного шара. Тем не менее, как только дело доходит до падения тел в воздухе, особенно тел со значительным воздушным сопротивлением, таких как пёрышко, например, то ситуация резко меняется. Появляется очень существенная сила сопротивления воздуха, которая в итоге может очень значительно уменьшить ускорение падающего тела, в зависимости от соотношения его площади к весу.

Из предыдущего уравнения видно, что на величину снижения пули влияет лишь один параметр – время полёта. Это время зависит от дульной скорости пули и сопротивления воздуха, которое уменьшает эту скорость во время полёта. Наличие этих факторов заставляет производителей винтовок создавать винтовки с большой дульной скоростью, а производителей боеприпасов – создавать пули с минимальным сопротивлением воздуху. Более быстро летящая пуля быстрее попадает в цель, при этом меньше снижается во время полёта, то есть её траектория более близка к прямой линии. Это, в свою очередь, упрощает прицеливание, уменьшает поправки при стрельбе на разные дистанции.

Для наших вычислений снижения пули (**рис. 19.16**) мы пользовались указанными выше предположениями, что снижение пули зависит только от времени. Также мы считали, что пуля идёт по прямой линии между двумя точками, хотя на практике это не совсем так, поскольку пуля идёт по криволинейной траектории. Тем не менее, в нашем случае различие между длиной плавной кривой реальной траектории пули и прямой линией было весьма незначительно, и мы таким различием пренебрегли. Однако, следует отметить, что при стрельбе на более длинные дистанции уже требуется заметно поднимать линию ствола под углом к горизонту, чтобы пуля попала в цель, что в свою очередь приводит к значительному расхождению между длиной траектории пули и длиной прямой линии от ствола до мишени. Мы же пренебрегли этой разницей, поскольку в нашем случае она была невелика, а её учёт потребовал бы значительного усложнения вычислений и больше соответствовал бы расчёту баллистики огнестрельного оружия, а не пневматики.

Как измерять дульную скорость пули мы уже упоминали раньше, поэтому сейчас мы остановимся на оценке сопротивления воздуха. Это крайне важная в расчётах величина, поскольку как только мы знаем дульную скорость, время полёта и закон снижения скорости, то мы можем вычислить конечную скорость пули. Тем не менее, следует помнить, что сила сопротивления воздуха не является постоянной на всём протяжении полёта пули, а зависит от её скорости, притом, если скорость уменьшается наполовину, сила сопротивления снижается лишь на четверть. Такая зависимость обычно называется квадратичной.

Осознать квадратичную зависимость несложно, особенно если посмотреть на неё с другой стороны. Если мы, например, хотим увеличить скорость в два раза, то надо быть готовым к увеличению затрат энергии в четыре раза, поскольку при удвоении скорости сила сопротивления воздуха увеличится в четыре раза (см. главу 1). Существует предел такого плавного нарастания силы сопротивления воздуха, этот предел зависит от формы пули и находится в районе 700 FPS¹. Например, в случае движения круглоголовой пули на такой скорости, поток воздуха, обтекающий её относительно тупую головную часть, начинает двигаться со скоростью близкой к скорости звука, что приводит к резкому увеличению силы сопротивления. Отсюда следует очевидный вывод, что любой

¹ То есть 213.5 м/с.

показатель силы сопротивления воздуха соответствует лишь какой-то определённой скорости.

Скорость звука при атмосферном давлении и нормальной температуре составляет 1116.5 FPS (обычно округляется до 1100 FPS)¹ и сопротивление воздуха резко повышается при преодолении этой скорости, и начинают действовать несколько другие законы. Поскольку большая часть пневматического оружия метает пули с дозвуковыми скоростями, то мы ограничимся вычислениями сопротивления для дозвуковых скоростей.

Каждая пуля в зависимости от калибра, формы, скорости имеет свою характеристику, описывающую спад скорости. И в реальном мире пневматического оружия *Баллистический Коэффициент* или *Баллистическая Таблица* имеет весьма небольшое значение, поскольку обычно прицел всё равно пристреливается методом проб и ошибок для каждого конкретного типа пуль. Однако, мы на опыте изучаем, насколько надо брать превышение или как надо перенастроить прицел с увеличением дистанции до мишени. Большинство пуль имеют достаточно похожие характеристики в каждом калибре, поэтому при стрельбе на обычные для пневматики расстояния не требуется значительной перенастройки прицела в случае смены производителя или марки пуль.

В общем случае, поскольку цена пуль невелика, можно производить сколько угодно пристрелочных выстрелов для настройки прицела. Как правило, редко кто занимается вдумчивой настройкой прицела с помощью баллистического калькулятора под каждую необходимую дистанцию, а уж тем более, когда мишенью является, например, кролик, или какое-либо другое живое существо, большая часть поправок прицеливания проводится интуитивно.

С другой стороны, например, в артиллерии ситуация кардинально иная. Стоимость одного выстрела весьма велика, поэтому крайне желательно провести пристрелку за минимальное количество выстрелов. То же самое относится и к морской артиллерии, особенно в случае, когда цель отсутствует в прямой видимости, поскольку находится за горизонтом. Частично уравнения из этих вычислений применимы и к случаю пневматического оружия, но далеко не все, поскольку у пневматики обычно не бывает сверхзвуковых скоростей, да и вращение земли на полёт пули влияния практически не оказывает.

Хотя, как мы уже упоминали, теоретическая баллистика имеет весьма ограниченное применение в части практической стрельбы, тем не менее, стоит этот вопрос разобрать чуть подробнее. Хотя бы потому, что в будущем характеристики пуль могут настолько измениться, что сравнивать их непосредственно с существующими сейчас пулями будет просто глупо и единственным способом сравнения останется сравнение в терминах теоретической баллистики.

Многие годы мы видели статьи, в которых обсуждались *Баллистические Таблицы* и *Баллистические Коэффициенты*, однако когда мы пытались перевести эти параметры в практически ценную информацию о полёте пули, мы просто тонули в количестве разнообразных параметров. Большая часть книг разбирает этот вопрос весьма подробно, углубляясь в такие дебри, которые никак не соотносятся с применением этой теории в пневматическом оружии. В конце концов, мы бросили наши попытки разобраться в этом вопросе самостоятельно и обратились к нашему другу, которого зовут Miles Morris, чтобы он помог нам выделить важные для нас характеристики и факты.

Наиболее общим термином, описывающим характеристики метаемого тела, является *Баллистический Коэффициент С*. Мы часто встречали этот термин, и у нас не было сомнений, что если мы сумеем полностью понять, что он означает, то мы сможем разобраться с проблемой кучности. На практике это оказалось совсем не так, поскольку,

¹ Соответственно 340.53 м/с и после округления 335.5 м/с.

во-первых, C не имеет никакого отношения к кучности как таковой, а лишь показывает соотношение между характеристиками данного метаемого тела и некоего стандарта, чьё поведение уже давно и досконально изучено.

Однако, с точки зрения использования для пневматического оружия C не является наилучшим способом, поскольку он включает в себя поправки, например, на атмосферные явления, что для нас совершенно не интересно. Поэтому мы используем собственный коэффициент CO , который более удобен в применении к пневматике.

Первое уравнение, которое нам надо рассмотреть в изучении теоретического полёта пули через воздух, это определение *удельной плотности пули* (sectional density). Эта характеристика описывает соотношение между весом пули и её диаметром.

$$SectionalDensity = \frac{W}{d^2}$$

здесь W – вес пули, а d – её диаметр.

Например, пусть у нас есть пуля калибра 0.22 дюйма и весом в 12 гран. Переводя вес в фунты, получаем 0.001714 фунта, что в итоге даёт нам удельную плотность:

$$SectionalDensity = \frac{0.001714}{0.22^2} = \frac{0.001714}{0.0484} = 0.03595$$

В случае же пули калибра 0.22 дюйма и весом в 20 гран удельная плотность будет:

$$SectionalDensity = \frac{0.002875}{0.22^2} = \frac{0.002875}{0.0484} = 0.05903^1$$

Пока что это просто полезное соотношение, которое нам ещё пригодится в дальнейших вычислениях.

При прочих равных показателях, вторая пуля улетит на большую дистанцию при одинаковой начальной скорости, поскольку она более тяжёлая и запасает больше энергии. Однако, предположим, что первая пуля имеет более выгодную с точки зрения аэродинамики форму и потому так просто сравнить их веса и сказать, какая улетит дальше нельзя, поэтому мы будем продолжать наши вычисления и учитывать разницу в сопротивлении воздуха.

То же самое уравнение, но с дополнительным параметром i приводит нас к определению *баллистического коэффициента* CO . В дальнейшем мы не будем рассматривать различия в форме пуль, поскольку это различие уже заложено в определение CO .

$$CO = \frac{W}{i \cdot d^2}$$

Буква i как раз отвечает за *форм-фактор* пули, то есть за её форму и фактор стабильности, он оказывает огромное влияние на полёт пули, особенно на больших скоростях. Как мы уже видели в предыдущих главах, существует огромная разница между сопротивлением плоскоголовой пули и круглоголовой или остроконечной. Значение форм-фактора изменяется со скоростью, поэтому пока мы не выясним характеристики полёта пули, дальше в вычислениях продвинуться не удастся.

Вообще-то значения CO и i нетрудно вычислить, если есть два хронографа, чтобы замерить скорость полёта пули в двух точках траектории. В случае же наличия лишь

¹ Желаящие могут пересчитать удельную плотность этих пуль в систему СИ самостоятельно. Кстати, можно просто воспользоваться коэффициентом соответствия для удельной плотности **70.215**, умножение на который как раз обеспечит перевод фунтов в кг, а дюймов в метры.

одного хронографа, придётся усреднять показатели скорости, что приведёт к возникновению погрешностей в вычислении. С другой стороны, использование одного хронометра требует многократных выстрелов для получения скоростей в разных точках траектории, что позволит отбрасывать некоторые выплески скорости как вверх, так и вниз, оставляя только устойчивые средние показания.

Баллистические таблицы.

Приведённая ниже баллистическая таблица (**таблица 19.1**) получена из оригинальной баллистической таблицы 1928, создание которой выходит за рамки данной книги.

Мы можем использовать эту таблицу для определения различных характеристик полёта пули. Предположим, что дульная скорость пули калибра 0.177 дюйма и весов в 10 гран будет 700 FPS, а на расстоянии 90 футов она падает до 600 FPS¹. Отсюда мы можем посчитать коэффициент CO :

$$\begin{array}{ll} V_1=700 \text{ FPS (дульная скорость)} & S_1=48932.3 \text{ (из таблицы)} \\ V_2=600 \text{ FPS (на дистанции 90 футов)} & S_2=44937.2 \text{ (из таблицы)} \\ & S_1-S_2=3995.1 \end{array}$$

$$CO = \frac{D}{S_1 - S_2} = \frac{90}{3995.1} = 0.0225$$

То есть при данных условиях $CO=0.0225$

Отсюда мы теперь можем вычислить и коэффициент i .

$$i = \frac{\text{SectionalDensity}}{CO} = \frac{W/d^2}{CO} = \frac{0.0456}{0.0225} = 2.027$$

Также можно использовать таблицу и для определения скорости на нужной дистанции. Например, пусть нас интересует скорость на дистанции 60 футов. Тогда используя данные, полученные выше:

$$(S_1 - S_2) = \frac{D}{CO} = \frac{60}{0.0225} = 2666.7$$

Теперь снова вернёмся к параметру S_1 , взятому из таблицы, который для 700 FPS составляет 48932.3, поэтому:

$$S_2 = S_1 - 2666.7 = 48932.3 - 2666.7 = 46265.6$$

По таблице можно определить, что есть два соседних близких значения – или 46198.1 или 46606.4. Разумеется, выбираем ближайшее, то есть 46198.1, оно соответствует скорости 630 FPS, то есть скорость пули на дистанции 60 футов будет 630 FPS.

Теперь вычислим время полёта пули на дистанцию 60 футов. Из таблицы можем найти показатели T , соответствующие скоростям 700 и 630 FPS.

$$T_1 - T_2 = 204.556 - 200.437 = 4.119$$

Отсюда время полёта $t = (T_1 - T_2) \cdot CO = 4.119 \cdot 0.0225 = 0.0927$ секунд.

Если же надо получить более точные значения, то следует найти пропорцию между двумя окружающими искомым число 46265.6 величинами и на их основе вычислить

¹ Пуля калибра 4.5мм и весом в 0.647 грамма, скорость вылета 213.5 м/с, а скорость через 27.45м 183 м/с.

нужную скорость, тогда скорость будет уже не 630 FPS, а 631.7 FPS, соответственно, $T_2=200.543$ и время полёта $t=0.0903$ секунды.

V скорость FPS	T	S дистанция футы	V скорость FPS	T	S дистанция футы
400	177.26	34645.2	770	207.946	51420.4
410	178.78	35260.8	780	208.382	51758.3
420	180.23	35862.6	790	208.807	52091.9
430	181.62	36453.3	800	209.222	52421.8
440	182.95	37031.8	810	209.627	52747.8
450	184.22	37957.0	820	210.023	53070.5
460	185.44	38152.1	830	210.410	53389.8
470	186.61	38696.1	840	210.788	53705.4
480	187.73	39228.1	850	211.155	54015.5
490	188.81	39751.9	860	211.508	54317.3
500	189.85	40266.7	870	211.847	54610.5
510	190.847	40770.2	880	212.173	54895.8
520	191.806	41264.1	890	212.487	55173.7
530	192.731	41749.7	900	212.789	55444.0
540	193.625	42228.0	910	213.079	55706.5
550	194.489	42698.9	920	213.359	55962.7
560	195.323	43161.8	930	213.629	56212.5
570	196.127	43616.1	940	213.890	56456.5
580	196.905	44063.5	950	214.142	56694.6
590	197.658	44504.6	960	214.380	56927.6
600	198.386	44937.2	970	214.622	57155.3
610	199.091	45363.7	980	214.850	57377.6
620	199.774	45783.7	990	215.070	57594.3
630	200.437	46198.6	1000	215.282	57805.2
640	201.080	46606.4	1010	215.487	58011.2
650	201.703	47008.2	1020	215.686	58213.2
660	202.308	47404.5	1030	215.880	58412.1
670	202.895	47794.8	1040	216.070	58608.7
680	203.465	48179.6	1050	216.252	58798.9
690	204.018	48558.4	1060	216.424	58980.4
700	204.556	48932.3	1070	216.586	59152.9
710	205.080	49301.7	1080	216.739	59317.4
720	205.590	49666.4	1090	216.884	59474.7
730	206.086	50026.0	1100	217.021	59624.7
740	206.569	50381.0	1110	217.151	59768.3
750	204.040	50731.9	1120	217.274	59905.4
760	207.499	51078.4	1130	217.390	60035.9

Таблица 19.1.

В качестве проверки проведённых выше вычислений мы проделали эксперимент. Для пули калибра 0.22 и дульной скорости 590FPS скорость на дистанции 90 футов составляет 519 FPS. По этим данным получается коэффициент $CO=0.02777$. Используя этот коэффициент можно вычислить скорость пули на дистанции 50 футов. По расчётам она получается 550 FPS, на практике замер показал 549 FPS. Расчётное время полёта пули

было 0.088 секунды, а наблюдаемое время – 0.083 секунды. В общем, как оказалось, весьма близки показатели расчётные и наблюдаемые.

Повторяя вычисления коэффициента CO теперь уже для дистанции 20 футов и той же начальной скорости 590 FPS, конечной скорости 587 FPS, получаем $CO=0.1510$. Этот пример изменения CO наглядно показывает его зависимость от скорости пули и длины траектории, взятой в качестве базы для расчёта. Таким образом, при указании коэффициента CO также весьма полезно указывать скорости и дистанцию, на которых он был получен. В случае пули с меньшим сопротивлением воздуха можно получить точно такой же *Баллистический Коэффициент*, но уже для большей дистанции и скорости.

Используя полученные выше показатели и уравнения, можно вычислить снижение пули на любой промежуточной дистанции, а затем по этим точкам построить кривую траектории полёта пули. Кроме того, можно определить максимальную практическую дальность стрельбы для данной пули. Следует также учесть, что для компенсации снижения пули ствол винтовки при прицеливании нередко смотрит чуть выше горизонтали, это также несколько повышает дальность стрельбы, но в расчётах мы этим фактором пренебрегли. Хотя на практике чем дальше расстояние до мишени, тем на больший угол приходится поднимать ствол по отношению к горизонту, чтобы компенсировать снижение пули.

Для всё той же пули, с которой мы проводили вычисления и получили $CO=0.02777$ мы вычислили следующие снижения:

Дистанция футы	20	30	40	50	60	70	80	90
Снижение дюймы	0.25	0.50	0.92	1.47	2.21	3.57	4.28	5.13

Следует отметить, что создание даже такой небольшой таблички требует достаточно заметных усилий, поскольку приходится производить немалое количество замеров скорости пули в разных точках траектории, времени полёта, затем заниматься вычислениями.

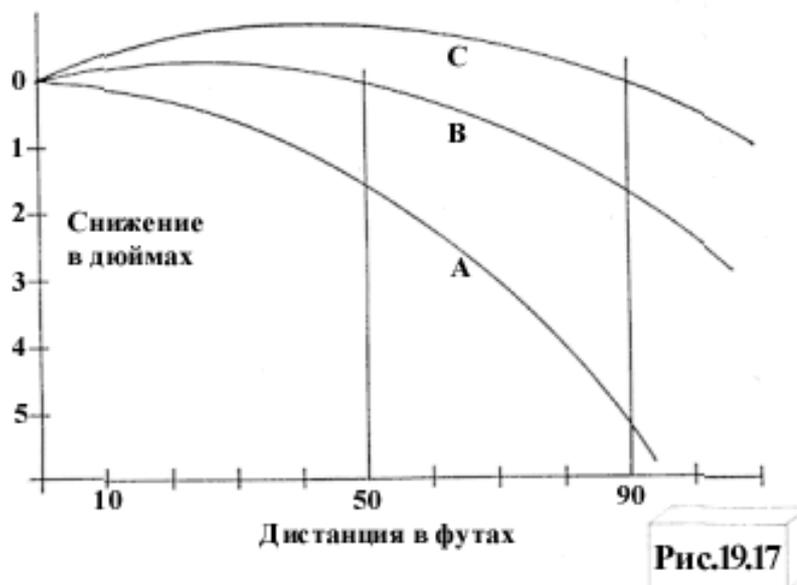


Рис.19.17

Из полученных выше снижений мы нарисовали три кривые (рис. 19.17). Траектория А соответствует вылету пули из ствола, расположенного горизонтально, это наиболее простой случай. Однако на практике нам необходимо знать, как выглядят кривые траекторий пуль на некотором расстоянии от ствола, чтобы была возможность сравнить разные типы пуль. Для того, чтобы провести такую кривую мы измеряем

снижение пуль на некоторых заранее известных дистанциях (в данном случае это 50 и 90 футов) и по трём точкам (дульный срез и два известных снижения) проводим кривую. Кривые **B** и **C** соответствуют углам наклона ствола, при которых снижение на 50 и 90 футов соответственно будет нулевым. Эти теоретические оценки вполне применимы при стрельбе из пневматического оружия на относительно небольшие дистанции и при условии, что цель не находится сильно выше или ниже стрелка. В случае же таких «неудачных» положений приходится полагаться уже только на опыт.

Если же есть желание выяснить максимальную дальность стрельбы из конкретной винтовки конкретными пулями, то нет никаких проблем в том, чтобы продолжить расчёты и для более дальних дистанций, больше, чем 30 ярдов, на которых мы остановились. Нам же хватило дистанции в 30 ярдов, чтобы оценить форму траектории пули и понять, что в нашем случае стрельба на большие дистанции крайне неэффективна.

Несколько лет назад один из любителей пневматики провёл эксперимент, в ходе которого выяснил, что пуля калибра 0.22 летит на дистанцию около 300 ярдов, а пуля калибра 0.177 на несколько меньшую дистанцию. При этом обе пули выстреливались с одинаковой дульной энергией 12 Ft·lbs¹. Однако, при этом ствол приходилось заирать очень высоко, энергия пуль при попадании была незначительной, да и о какой-либо кучности говорить не приходится.

Следующая трудность, возникающая при попытке применить полученные выше расчётные данные – это измерения угла между стволом и горизонтом. В артиллерии для этого используются специальные приборы, а что касается применения в пневматике, то тут достаточно лишь корректно пристрелять винтовку в ноль на определённой дистанции, а затем просто брать поправки выше или ниже цели в зависимости от изменения дистанции.

Следует сказать, что расчёты это «анализ идеальной системы», то есть они могут и не совсем совпадать с реально существующими пулями и их поведением во время полёта. И это утверждение особенно важно, когда речь заходит о расчёте траектории пули пневматики. С точки зрения здравого смысла кажется, что стоит рассчитать коэффициенты до третьего или четвёртого знака после запятой и всё. Никто же не сможет уложить пули так близко, да и измерить такие дистанции, мягко говоря, непросто. Однако, не стоит забывать, что все показатели вычисляются на основе усреднённых данных по многим выстрелам, а не по одному. Поэтому возможны любые незначительные отклонения из-за множества малозаметных факторов, которые не учитывались в расчётах. Всё это снова приводит нас к утверждению, что даже точное понимание и знание *баллистического коэффициента* ещё не является гарантией точного выстрела, хотя и помогает понять причину промаха.

Возможно, здесь это будет и не к месту, но *баллистический коэффициент* можно определить словами как отношение силы сопротивления данной пули к стандарту. При этом за стандарт берётся некое метаемое тело, чьи характеристики уже досконально изучены. Однако в данном случае мы сравнивали характеристики наших пуль с характеристиками небольших артиллерийских снарядов, поскольку именно для них и была взята исходная баллистическая таблица.

Использование *баллистического коэффициента* в последние годы заменяется использованием коэффициента сопротивления *Cd*. Этот коэффициент, во-первых, «прощает» небольшие ошибки в измерении скорости (поскольку используется лишь отношение скоростей), а во-вторых, характеризует пулю саму по себе, а не по сравнению с

¹ То есть пуля 5.5мм летит на дистанцию 274.5 м, пуля калибра 4.5мм летит несколько ближе, и это всё при дульной энергии в 16.27 Дж.

чем-либо. Кроме того, этот коэффициент просто более точно описывает характеристики пули, по сравнению с описанным выше коэффициентом CO .

$$Cd = \frac{M}{K \cdot S} \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

M – масса пули в гранах
 V_1 – дульная скорость FPS
 V_2 – скорость у мишени FPS
 K – константа
 S – дистанция в ярдах

Константа K имеет разные значения для разных калибров. Для основных калибров показатели приведены ниже:

Калибр	0.177	0.20	0.22	0.25
К	0.1374	0.17514	0.20529	0.27365

Приведём данные из реального эксперимента. Пуля 0.177 прилетающая со скоростью 750FPS на дистанцию 30 ярдов показала $Cd=0.590$, а пуля 0.22 со скоростью 770 FPS на той же дистанции¹ показала $Cd=0.480$. Следует обратить внимание на то, что для сравнения коэффициентов надо брать коэффициенты, полученные для одинаковых начальных скоростей и дистанций. В целом же более низкий коэффициент означает меньшее сопротивление воздуха.

В предыдущей главе мы проводили замер силы сопротивления воздуха на скорости 130FPS с помощью аэродинамической трубы. Теперь мы можем перевести полученные тогда результаты из гран в коэффициенты Cd . Для этого надо лишь полученные тогда результаты в гранах поделить на соответствующие калибру коэффициенты:

Калибр	0.177	0.20	0.22	0.25
Коэффициент	24.01	30.6	35.87	47.81

Таким образом, получаем следующие результаты: для калибра 0.177 $Cd=0.499$, а для калибра 0.22 $Cd=0.348$

Зная коэффициент Cd можно вычислить время полёта пули из следующего уравнения:

$$t = \frac{3 \cdot M}{K \cdot Cd} \cdot \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)$$

значения M и K точно такие же, как и в уравнении для расчёта самого коэффициента Cd .

¹ Пуля калибра 4.5мм имела скорость 228.75 м/с, а пуля калибра 5.5мм имела скорость 234.85 на дистанции 27.45м.

Кроме того, если подставить в последнее уравнение вместо Cd его формулу, приведённую выше, можем выразить t напрямую, не считая отдельно Cd , хотя по сути всё равно его посчитаем во время вычисления t :

$$t = \frac{3 \cdot S \cdot \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)}{\text{Ln} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)}$$

Одной из наиболее трудных задач при стрельбе является введение поправок на ветер, если стрельба происходит на открытой местности в ветреный день. Эта задача ещё больше усложняется, если учесть, что на практике ветер редко дует точно с одного направления. Тем не менее, нижеприведённая формула Rifleman'a может помочь примерно оценить необходимую поправку.

$$D = W \cdot (T - T_2)$$

D – отклонение пули в футах

W – скорость поперечной для траектории составляющей ветра, в FPS

T – время полёта пули до мишени

T_2 – время полёта на ту же дистанцию в вакууме, то есть когда пуля всю дистанцию проходит с дульной скоростью.

Предположим, что пуля вылетает из ствола со скоростью 600FPS и летит 30 ярдов при скорости ветра 1 MPH (это миля в час, то есть 1.4667 FPS). Используя таблицу можно вычислить, что время полёта пули будет примерно 0.165 секунды в воздухе и ровно 0.150 секунды в вакууме. Отклонение, вызванное ветром, будет 0.022 фута или 0.264 дюйма¹.



Рис.19.18

Разумеется, это весьма идеализированный случай, когда ветер дует равномерно и стрелок знает точно направление и скорость ветра, а также баллистику собственных пуль.

¹ То есть скорость вылета пули 183 м/с, а скорость ветра 0.48 м/с, снос пули 0.67 см.

Небольшой набросок (**рис. 19.18**) показывает в весьма преувеличенном виде, как пуля реагирует на боковой ветер справа. Разумеется, на практике поворот пули вправо будет куда менее заметным. Она будет разворачиваться головной частью к направлению «относительного ветра», который состоит из комбинации реального ветра и набегающего потока воздуха от движения пули, который на рисунке обозначен как «лобовая составляющая ветра». Соответственно, сила сопротивления воздуха действует на пулю уже в направлении этого «относительного ветра», то есть под углом к направлению движения пули, что и обуславливает её снос вбок. Поэтому стрелку надо брать чуть правее мишени при наличии ветра справа, чтобы скомпенсировать этот снос. Если предположить, что пуля не имеет никакого сопротивления вообще, то она повернётся головной частью в направлении «относительного ветра», но будет продолжать движение по прямой.

Глава 20. Кучность.

До этого момента мы уже не раз обращались к проблеме кучности, но теперь мы постараемся разобрать эту проблему максимально подробно, именно для пневматического оружия. Мы проводили множество экспериментов, чтобы получить содержательные результаты, в частности, летом 1972 года мы провели множество часов в поле, отстреливая тысячи выстрелов, в надежде понять тайну кучности.

Как правило, в качестве основной характеристики кучности декларируют стабильную дульную скорость для винтовки, но хотя эта характеристика весьма существенна, её роль в кучности может быть оспорена. В частности, мы ожидали, что хорошая винтовка с высокой кучностью будет показывать совершенно стабильную скорость с разбросом всего в несколько FPS, но расчёт показывает, что даже при разбросе скоростей в 20 FPS¹ разница в проседании пули у мишени будет совершенно незначительна.

Подтвердим наши слова примером. Ссылаясь на методику расчёта из предыдущей главы, постулируем, что скорость вылета пули калибра 0.177 будет 700 FPS и её $CO=0.0225$, такой пуле требуется 0.0903 секунды, чтобы пройти дистанцию 60 футов. Для сравнения возьмём другую пулю того же калибра, со скоростью вылета 680 FPS², тогда её время полёта на ту же дистанцию будет уже 0.0906 секунды. Если теперь посчитать снижение для этих пуль за указанные промежутки времени, то получим 1.57 и 1.58 дюйма соответственно³, то есть разница составляет всего лишь одну сотую дюйма!!! Таким образом, получается, что разница по скорости в 20 FPS между двумя последовательными выстрелами даёт совершенно ничтожный разброс пуль. Но это всё в теории, а мы знаем, что в части пневматического оружия теория далеко не всегда совпадает с практикой.

Нас также всегда смущал результат множества наших экспериментов, в которых размер кучи попаданий был весьма большим, больше, чем он должен был бы быть по расчётам и больше, чем у хорошо подготовленных стрелков. Постепенно мы и сами пришли к выводу, который затем подтвердился в обсуждениях с другими любителями пневматики – разные марки пуль имеют разную кучность. Более того, даже одна и та же марка пуль в разных винтовках ведёт себя совершенно по-разному. Отсюда формируется известный совет для любого новичка: *если хочешь получать из своей винтовки максимальную кучность, пробуй различные типы пуль, чтобы найти именно те, которые наилучшим образом соответствуют твоей винтовке*. Хотя нам такое утверждение и не по душе, поскольку обрекает новичка на лотерею с угадыванием нужных пуль. Куда лучше было бы провести некие исследования, чтобы потом точно говорить, что для такой-то винтовки наилучшими являются такие-то пули.

Таким образом, мы решили провести глобальное исследование кучности, в ходе которого пришлось отстрелять более 2000 выстрелов в двух калибрах, чтобы получить содержательный результат, на котором можно было бы строить выводы. Конечно, это требовало большого терпения и аккуратности, но нас это не пугало.

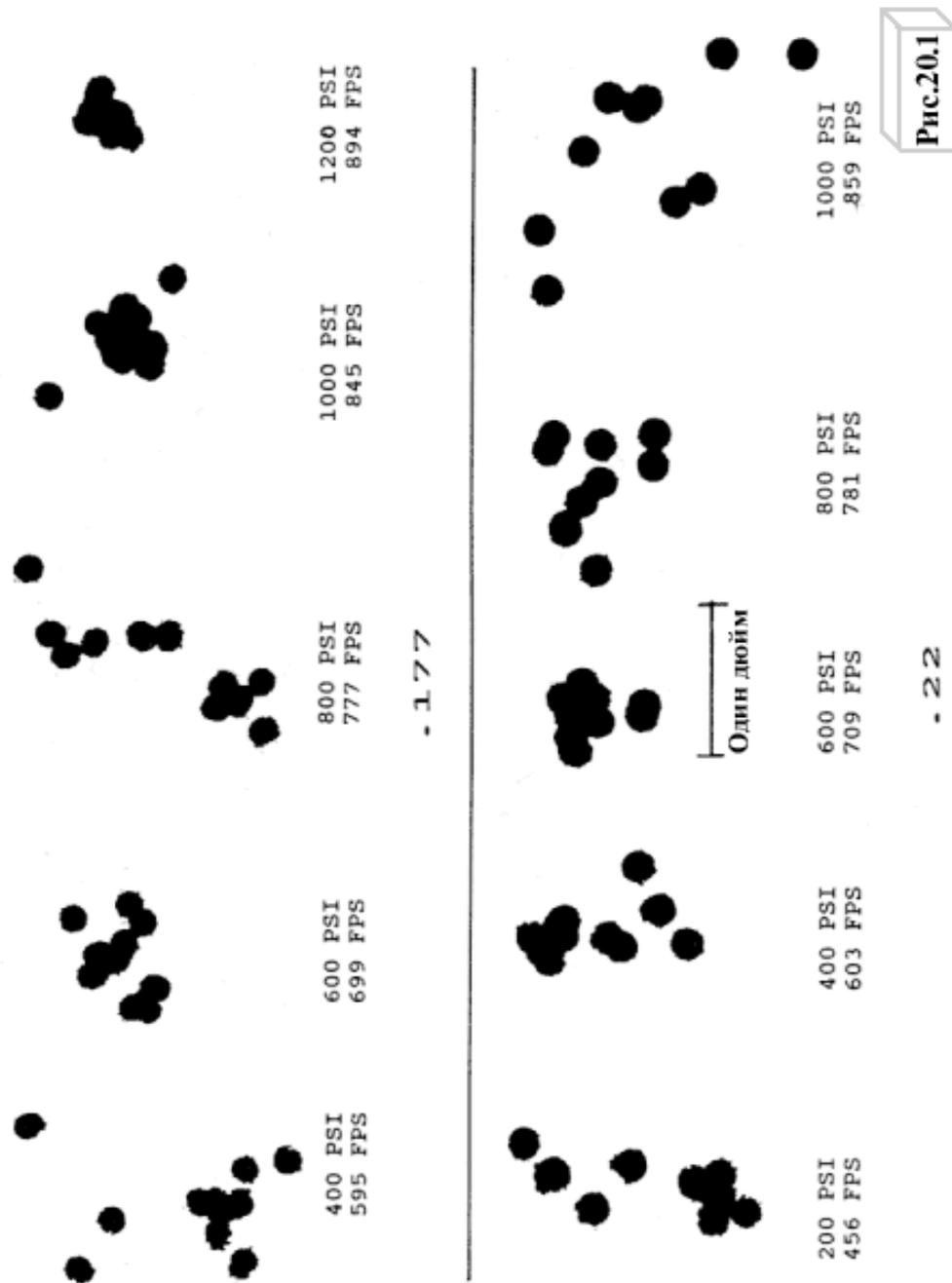
Были выбраны три ствола калибра 0.177 и четыре ствола калибра 0.22. Кроме того, были выбраны шесть типов пуль для калибра 0.177 и четыре типа пуль для калибра 0.22. Мы использовали наш *компрессионный метатель* для проведения этого эксперимента, поскольку хотели воспользоваться преимуществами жёсткой фиксации ствола (чтобы исключить ошибки стрелка) и возможностью изменения мощности. Каждая

¹ То есть ожидали, что разброс скоростей будет в районе 1 м/с, а расчёт показал, что и 6 м/с не дают большой разницы в проседании пули.

² Две пули на дистанции 18.3 м, у одной скорость вылета 213.5 м/с, а у другой 207.4 м/с.

³ Проседания пуль 39.87 мм и 40.13 мм, то есть разница на 0.25 мм.

пара ствола и пули тестировалась на пяти различных давлениях, с шагом в 200PSI, при этом для калибра 0.177 стартовое давление было 400 PSI, а для калибра 0.22 – 200 PSI¹. Для каждого из калибров такое начальное давление обеспечивало для средней точки (третьей итерации) дульную энергию в 12 Ft-lbs.



Все отстрелы проводились на дистанцию в 30 ярдов, каждая пуля аккуратно вынималась из банки, слегка смазывалась маслом и пропихивалась на четверть дюйма в ствол, чтобы точно встать на нарезы². Каждый выстрел замерялся хронографом и

¹ То есть начали с давлений 13.6 атм. для калибра 4.5 мм и 27.2 атм. для калибра 5.5мм, далее пять итераций с шагом в 13.6 атм.

² Дистанция 27.45 м, каждую пулю пропихивали на 6.35 мм в ствол.

выстрелы с резко отличающейся в большую или меньшую сторону скоростью не учитывались, также не учитывались очевидные «дуры» с огромным отрывом от основной группы попаданий. Мы даже приобрели небольшую видеокамеру с монитором от системы наблюдения, чтобы прямо с места стрельбы видеть мишень. Это небольшое приобретение позволило сэкономить часы забегов до мишени и обратно, что сделало проведение эксперимента куда более удобным.

В ходе эксперимента выяснилось, что скорость всё же имеет большое значение для кучности, но вот зависимость эта весьма непонятна. Некоторые комбинации пули и ствола показывали отличную кучность на малых скоростях и плохую на больших, другие же совершенно наоборот, с увеличением скорости показывали лучшую кучность. В паре комбинаций наблюдалась ещё более интересная картина, когда на первых двух итерациях размер кучи уменьшался, а на последних двух снова рос.

На **рис. 20.1** приведены примеры куч для обоих калибров, при этом для калибра 0.177 кучность улучшается при увеличении скорости, а для калибра 0.22 наилучшая кучность получается при средней скорости. Лучшая группа по кучности в обоих случаях успешно покрывается полудюймовой окружностью, а наихудшая – примерно трёхдюймовой окружностью.

Также в ходе эксперимента мы были сильно озадачены тем, что кучность из жёстко закреплённого ствола всё равно получалась хуже, чем у некоторых спортсменов. Чтобы эмулировать закрепление ствола на прикладе и упор в плечо, мы воспользовались резиновыми креплениями, которые использовали ещё в главе 9, при изучении вибраций ствола. Наши подозрения оправдались – такое крепление позволило ещё больше повысить кучность, с 0.5 дюйма до 0.375 дюйма¹, хотя и это по-прежнему хуже, чем результат хорошо подготовленного стрелка.

Таким образом, возник вопрос, почему же плотно закреплённый ствол даёт кучность хуже, чем хорошо подготовленный спортсмен с рук. Это весьма удивительно, но эксперимент показал именно такой результат, в противовес очевидным ожиданиям, что в случае пневматического оружия плотно закреплённый ствол совсем не обязательно даёт такую же или даже лучшую кучность, которую показывает хорошо подготовленный спортсмен при стрельбе с рук.

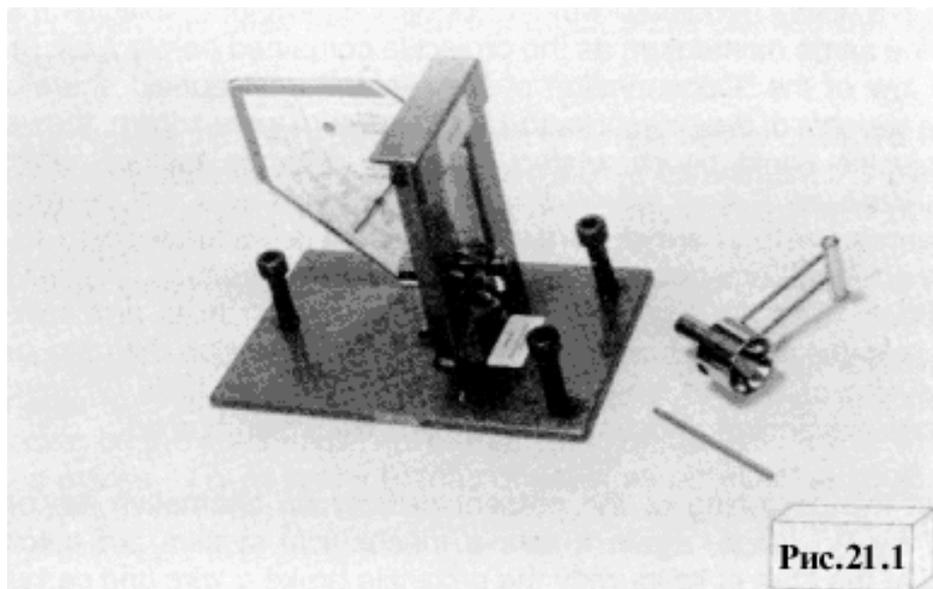
Тем не менее, наш эксперимент показал, что независимо от того, ведётся ли стрельбы с рук или со станка, всегда размер кучи зависит от многих параметров: от ствола, от пули, от скорости. Поэтому совет перепробовать максимально возможное количество разных типов пуль остаётся по-прежнему актуальным.

¹ Кучность с 12.7 мм повысили до 9.5 мм.

Глава 21. Измерение скорости.

Измерение скорости метаемого тела весьма важно, как для изучения внешней баллистики, так и для создания новых пуль. Для человека, занимающегося баллистикой, хронограф настолько же необходим, как и спидометр для водителя автомобиля, без этого прибора получить ценную информацию из эксперимента весьма трудно.

Значение скорости пули не было известно экспериментаторам вообще, пока Benjamin Robins (1707-1751) не изобрёл Баллистический Маятник. Эта чисто механическая конструкция использует третий закон Ньютона, который гласит, что каждое действие порождает соответствующее противодействие. Если относительно лёгкая пуля ударяется об относительно тяжёлый маятник, то в соответствии с законом сохранения момента движения, этот момент передаётся маятнику. Далее, зная массы маятника и пули, а также измерив величину отклонения маятника можно посчитать момент движения пули и, соответственно, её скорость. Несколько лет назад мы сконструировали миниатюрную версию такого маятника (**рис. 21.1**), уменьшенную именно для применения в сфере пневматического оружия. Особенности создания этой конструкции и математическое обоснование было подробно изложено в книге «The Airgun from Trigger to Muzzle». По всей вероятности наш уменьшенный маятник был гораздо более точным, чем оригинальный монстр, предназначенный для измерения скорости пушечных ядер. И конечно, у нас было огромное преимущество в виде возможности использования для калибровки маятника электронного хронографа.



Примерно в начале XX века Boulange разработал другое устройство, опять же механическое, но уже с частичным использованием электрики для контроля результата. Идея конструкции была такова: при вылете пуля пробивала тонкую сетку из провода, разрывая электрическую цепь и позволяя падать грузу, а в конце полёта пуля пробивала другую сетку, и специальный нож оставлял отметину, показывая, насколько успел опуститься груз. После этого зная вес груза и пройденную им дистанцию, можно было вычислить время полёта и, следовательно, скорость пули. С приходом в нашу жизнь электроники, сначала в виде радиоламп, а потом в виде транзисторов и микросхем, задача измерения времени полёта заметно упростилась. Современный хронограф стоит заметно меньше хорошей винтовки, а его точность весьма высока, что является огромным скачком вперёд по сравнению тем, что было сотню лет назад.

Теперь сделаем небольшое отступление в сторону словообразования. В этой книге, когда речь заходила об измерении скорости, мы употребляли слово «χρονο», а не хронограф¹. Это было сделано просто для удобства, чтобы сократить длинное название. Хотя и само название можно было бы сформулировать по-разному, как это делается в разных книгах – хронограф, хроноскоп и наиболее точное хронометр. Все эти слова берут своё начало от греческих слов *Chronos*, *Graphein*, *Skopein*, *Metron*, что в переводе означает соответственно *время, писать, видеть, измерять*. Очевидно, что наиболее корректная комбинация слов должна содержать слова «время» и «измерять», отсюда название хронометр. Тем не менее, в повседневной жизни более жизнеспособным оказался термин *chrono*².

Способ измерения скорости пули в хронографе весьма близок к так называемому «фотофинишу». В приборе используется два световых датчика, расположенных на точно измеренной дистанции, и когда пуля пересекает поочерёдно оба датчика, то, зная время между их пересечением и расстояние, на котором они установлены, можно вычислить скорость пули. Другое дело, что в фотофинише обычно считают только сотые доли секунды, а в случае хронографа с не очень большим расстоянием между датчиками иногда необходимо считать время с точностью до миллисекунд. Такая высокая точность особенно необходима в случае компактного хронографа, когда датчики находятся на расстоянии всего лишь в десяток сантиметров друг от друга, если не ближе.

Когда речь идёт о соревновании бегунов, то мы обычно используем формулировку типа «100 метров за 10 секунд», но никогда не переводим этот результат непосредственно в скорость. Дело в том, что для бегунов важно, сколько метров он пробежит за определённый промежуток времени, а потом уже при желании можно вычислить его среднюю скорость на этой дистанции. Для стрелков же абсолютно не интересно, с какой средней скоростью летит пуля и как быстро она пролетит расстояние до цели, а вот её дульная (да и не только) скорость весьма важна. Этому же способствует и малое расстояние между датчиками хронографа – по сути, измеряется мгновенная, а не усреднённая скорость.

В целом существует два основных типа хронографов, принципиально устроенных одинаково, но всё же имеющих некоторые различия. Первый тип представляет собой небольшую коробочку с двумя датчиками, как правило, инфракрасными. Датчики расположены на расстоянии 10-15см в специальной металлической или пластиковой трубке, через которую и производится выстрел с небольшого расстояния. Этот небольшой запас необходим, чтобы дым из ствола или возмущение воздуха успело рассеяться и не вызывало преждевременного срабатывания датчиков. Второй тип хронографа схож с первым, но в нём используется дневной свет, падающий на датчики, так называемый *SkyScreen*. Каждый датчик является отдельной конструкцией и поэтому их можно располагать на любой удобной дистанции. Как правило, первый тип хронографа используется при стрельбе в закрытых помещениях, а второй – при стрельбе на улице, хотя никто не мешает использовать и второй тип хронографа в помещении, заменив дневной свет искусственным.

Каждая система имеет свои преимущества и недостатки. В первом случае дистанция между датчиками фиксирована, и аппарат может быть настроен, чтобы выдавать как мгновенную, так и среднюю скорость за несколько выстрелов, или же считать энергию выстрела и т.д. Такие приборы очень просты в использовании и, пожалуй, незаменимы при использовании дома, требуя только надёжный

¹ Действительно, в оригинале почти везде употреблялся термин «χρονο», который я заменял термином «хронограф», чтобы не было недоразумений.

² Есть ещё один момент – хронометрами также называются просто очень точные часы, а вот хронограф вроде достаточно уникальное название, чтобы его было трудно с чем-то спутать.

пулеулавливатель. Однако из-за небольших размеров трубки этот прибор позволяет замерять только дульную скорость, поместить его около мишени и замерить скорость пули у мишени теоретически можно, но практически весьма трудно из-за большой вероятности повредить прибор случайным попаданием.

Второй тип хронографа гораздо более дорогой и в большинстве случаев (за исключением редких и дорогих моделей) показывает только время между срабатываниями датчиков, которые затем надо вручную переводить в скорость. Зато они имеют большую сферу применения, поскольку пуля уже не ограничена пролётом через узкую трубку. При наличии яркого освещения пуля может пролетать на высоте 20-25 см от датчика и по-прежнему успешно им фиксироваться. Разумеется, очень важно, чтобы два датчика были расположены на точно измеренном расстоянии, поскольку это расстояние будет затем участвовать в вычислении скорости пули.

Уравнение для преобразования результатов выдачи такого хронографа в скорость выглядит следующим образом:

$$\text{Скорость} = \frac{\text{Расстояние между датчиками (дистанция)}}{\text{Показания хронографа (время)}}$$

Второй тип хронографа особенно полезен при исследовании баллистики пули, поскольку, как мы указывали в главе 19, с его помощью можно получать ценную информацию о скорости пули на любом необходимом удалении от ствола, в отличие от хронографа первого типа, в трубку с датчиками которого попасть с более-менее солидного расстояния очень сложно.

Один из наиболее важных аспектов любой системы для измерения скорости, что она должна или работать правильно, или не работать вообще. Зачастую в них встроены специальные функции самоконтроля, которые позволяют проверить прибор при включении или при нажатии на соответствующую кнопку. Многие хронографы могут работать как от внешнего питания, так и от батарей, в этом случае важно, чтобы разрядка батарей вовремя диагностировалась, и прибор с недостаточно заряженными батарейками просто не работал, а не выдавал бы неверные результаты измерения.

Основная задача хронографа – это измерение скорости или для целей дальнейшего исследования или же просто для выбора пользователем наиболее оптимальных параметров винтовки или боеприпаса. Все хронографы, существующие сейчас в продаже, вполне удовлетворяют обеим этим целям. Однако в Англии показания хронографа могут иметь и ещё одно применение – для реализации закона. Дело в том, что без лицензий в Англии можно приобретать винтовки с дульной энергией до 12 Ft·lbs и пистолеты с дульной энергией 6 Ft·lbs¹.

Это законодательное ограничение приводит к фактическому требованию, чтобы домашний хронограф был примерно такой же точности, как и промышленный, используемый при проведении экспертизы. Отсюда появляется щекотливый вопрос, как калибровать и настраивать хронографы, чтобы результат их работы был соответствующим действительности. В случае с электронной частью хронографа проверить её несложно с помощью соответствующих приборов, но вот когда дело доходит до оптической части хронографа тут всё оказывается сложнее, поскольку возникает проблема с точным определением момента срабатывания датчика на пролетающую пулю. Например, возможен случай, когда пуля пересекает датчики не ровно, а под небольшим углом, что

¹ То есть дульная энергия винтовок до 16.27 Дж, а пистолетов 8.13 Дж. Правда, не очень ясно, как в Англии решают проблему конструкций трансформеров, то есть, конструкций, которые путём несложных манипуляций могут выглядеть и как винтовка и как пистолет. Примеры – РПШ ВЛ, Umarex S&W 586/686 и т.д. и т.п.

приводит к изменению пройденной пулей дистанции и, соответственно, к неправильному замеру скорости. Величина такой ошибки возрастает по мере уменьшения расстояния между датчиками. Именно по этой причине настоятельно рекомендуется располагать датчики SkyScreen на расстоянии не менее двух футов¹ друг от друга. Точно также крайне существенно, чтобы оба датчика «глядели» строго вверх и параллельно друг другу.

Также мы использовали несложный тест для сравнения хронографов – мы ставили два хронографа друг за другом и производили выстрел, после чего записывали показания, меняли хронографы местами и производили ещё один выстрел. Разумеется, такая методика позволяет только сравнить испытуемый хронограф с эталонным хронографом, который и сам может измерять скорость с ошибкой, но всё же это весьма полезный и несложный метод проверки хронографов.

Хотя сейчас существует немало специальных институтов, которые занимаются измерением скоростей тел с очень высокой точностью, ни один из них не предложил пока разумной системы для калибровки хронографов в соответствии со стандартами. Тем не менее, доступные сейчас хронографы достаточно легки в управлении и позволяют измерять скорости с точностью до нескольких FPS², что вполне достаточно для практических целей и соблюдения законности. Дело в том, что в большинстве случаев, когда дело о превышении мощности пневматического оружия доходит до суда, участвующая в деле пневматика намного превосходит разрешённый законом лимит.

¹ То есть 61 см.

² Порядка 1-2 м/с.

Глава 22.

Будущее.

Пневматическое оружие уже имеет весьма интересную и бурную историю развития, но их будущее кажется ещё более интересным. С момента нашего первого знакомства с пневматикой в 1967 году мы видим, что огнестрельное оружие потихоньку начинает сдавать свои позиции в некоторых местах из-за всё большей плотности населения и создаваемого огнестрельным оружием большого шума. В это же время пневматика получает всё большее распространение, как частичная замена огнестрельному оружию. И видимо, такая тенденция сохранится и в будущем, притом распространяться пневматика будет не только в среде обычных людей, но и среди тех, кто, как и мы, с рождения любит стрелять.

За последние тридцать лет произошёл заметный скачок вперёд как в дизайне, так и во внутреннем устройстве пневматических винтовок и пистолетов. Возможно, одним из наиболее существенных шагов было широкое распространение *PCP* пневматики в различных видах.

Наши собственные исследования проводились на весьма ограниченные средства, поэтому большую часть оборудования нам приходилось изготавливать самостоятельно, или же брать где-то взаймы, что несколько ограничивало глубину этих исследований. Возможно, одной из основных тем для будущих исследований будет полёт пуль, поскольку существующие сейчас пули имеют весьма высокое сопротивление воздуха, что сильно ограничивает их эффективную дальность. Также почему-то совершенно не исследована область технологии создания пуль, а существующая форма *Diabolo* продолжает жить уже многие годы, и не возникает никаких серьёзных попыток произвести в этой сфере заметные изменения, несмотря на явно меняющиеся требования к пулям в виде появления мощных винтовок. В нашем случае отсутствие у нас аэродинамической трубы со скоростью 700 FPS заставило нас ограничиться куда меньшим показателем в 130 FPS¹, и потому мы не смогли провести серьёзное исследование по зависимости силы сопротивления воздуха от формы пули для различных калибров или попытаться создать свои пули несколько изменённой формы с лучшей обтекаемостью.

Также мы обсуждали возможность создания пружинно-поршневой винтовки с полностью стеклянным цилиндром, что при использовании скоростной фотографии позволило бы получить бесценную информацию о процессе выстрела во всех четырёх фазах. Также было бы интересно использовать в такой конструкции газовую пружину, мощность которой можно легко варьировать, что позволит изменять скорость потока, а кроме того, было бы интересно установить сменный, опционально также стеклянный перепуск.

¹ Вместо желаемых 213.5 м/с пришлось ограничиться скоростью в 39.65 м/с.

Преобразования единиц измерения¹.

Длина.

1 дюйм =	25.4 мм.		
1 фут =	12 дюймов =	0.3048 м (0.305м)	
1 ярд =	36 дюймов =	3 фута =	0.9144м (0.915м)
1 миля =	5280 футов =	1760 ярдов =	1609м
1мм =	0.0394 дюйма		
1 метр =	3.281 фута =	1.094 ярда	
1 км =	1093.6 ярда =	0.621 мили	

Площадь.

1 кв. дюйм =	654.2 кв. мм
1 кв. фут =	0.093 кв. м
1 кв. мм =	0.0015 кв. дюйм
1 кв. см =	0.155 кв. дюйм
1 кв. м =	10.764 кв. фут

Объём.

1 куб. дюйм =	16.387 куб. см
1 куб. см =	0.061 куб. дюйм

Вес.

1 гран =	0.065 грамма (0,0647 грамма)
1 фунт =	7000 гран = 0.454 кг (0.453 кг)
1 грамм =	15.432 гран
1 килограмм =	2.205 фунта (2.207 фунта)

Работа.

1 футо-фунт =	1.3558 Дж (1.3557 Дж)
1 Джоуль =	0.7376 футо-фунта

Давление.

1 PSI =	0.068046 атм. = 0.0703 кгс/см ² = 6894.7 Паскаль
1 бар =	14.696 PSI = 100 000 Паскаль
1 кгс/см ² =	14.223 PSI
1 Паскаль =	1 Н/м ²

Скорость.

1 FPS =	0.3048 м/с (0.305 м/с) = 0.682 MPH
1 MPH =	1.466 FPS = 0.447 м/с
1 м/с =	3.281 FPS (3.279 FPS) = 2.237 MPH

Температура.

Перевод градусов Фаренгейта в градусы Цельсия: $C = \frac{5}{9}(F - 32)$

Перевод градусов Цельсия в градусы Фаренгейта: $F = \frac{9}{5}(C + 32)$

¹ Сначала указываю данные из книги, а в скобках указываю данные из других источников, использованные мной в ходе перевода книги, если таковые отличаются.