

ГЛАВА XVI

ДИНАМИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Выше мы говорили об устройстве и работе отдельных деталей и механизмов. Теперь кратко коснемся анализа и оценки оружия в целом, а также вопро-

сов, связанных с работой систем со свободным затвором и использованием теории ударов при исследовании работы деталей автоматики.

1. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ОРУЖИЯ

Анализ движения механизмов автоматики под действием заданной силы осуществляется на основе определения законов, характеризующих положение и движение механизмов в любой момент времени.

Теоретическое решение этой задачи связано с составлением дифференциальных уравнений движения механизмов с последующим их решением относительно неизвестного кинематического параметра в пределах части или всего цикла автоматики.

Таким образом было получено основное уравнение динамики

$$m_{np}(x) \frac{d^2 x}{dt^2} - \frac{1}{2} \frac{d[m_{np}(x)]}{dx} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = F_{np}(x, v, t)$$

где m_{np} — приведенная масса деталей оружия; F_{np} — приведенная приложенная сила; v — скорость движения деталей; t — время движения деталей; x — координата движения деталей (путь).

Если читатель владеет аппаратом высшей математики и его заинтересует этот вопрос, автор рекомендует обратиться к работе [86].

На уровне средней математики рассмотрим следующий вопрос.

2. СИСТЕМЫ СО СВОБОДНЫМ ЗАТВОРОМ

Для обеспечения движения затвора в этих системах необходимо, чтобы давление пороховых газов на дно гиль-

зы было больше суммарной силы, оказывающей сопротивление движению затвора назад. Силы, противодействи-

ющие движению затвора назад, следующие:

- сила сопротивления пружины, прижимающая затвор к срезу ствола;
- сила трения, возникающая между направляющими и затвором;
- сила трения гильзы в патроннике, так как затвор без гильзы двигаться не может.

Пренебрегая первыми двумя силами (они по сравнению с последней силой невелики), получим условие возможно-го движения затвора

$$P - S > R,$$

где P — давление порохового газа внутри гильзы; S — внутренняя площадь дна гильзы; R — сила трения гильзы в патроннике.

Сила трения вычисляется по следующей зависимости

$$R = PfF,$$

где P — давление порохового газа внутри гильзы, f — коэффициент трения; F — площадь гильзы, прилегающая к патроннику.

Если допустить, что гильза имеет цилиндрическую форму и равную толщину стенок, тогда площадь гильзы, прилегающая к стенкам патронника, выразится следующим образом

где d_x — наружный диаметр гильзы; l — длина корпуса гильзы.

Площадь дна гильзы выражается следующей зависимостью

$$\pi \frac{d^2}{4}$$

где d — внутренний диаметр гильзы.

Тогда условие движения затвора получит вид

$$P \frac{\pi d^2}{4} > Pfndl,$$

отсюда

Если же относительная длина гильзы будет превосходить некоторый предел, тогда система работать не будет, так как сила трения гильзы в патроннике будет больше давления, действующего на дно гильзы, что обычно приводит к поперечному разрыву гильз.

Кроме того, в системе со свободным затвором может произойти продольный разрыв гильзы, если она до того момента, когда пуля покинет канал ствола, выйдет утонченной частью из патронника.

Уменьшение пути затвора за время движения пули по каналу ствола достигается за счет увеличения массы подвижных деталей. Для определения массы подвижных деталей пользуются зависимостью

где Q — вес подвижных деталей; q — вес пули; L — длина нарезной части канала ствола; l — путь, проходимый затвором за время движения пули по каналу ствола.

Это соотношение справедливо только в том случае, когда не учитывается сила трения деталей и сила сопротивления пружины. Здесь вес подвижной системы будет определен с некоторым увеличением.

При m и e р. Определить вес затвора пистолета при следующих исходных данных: вес пули $q = 6$ г; длина нарез-

ной части ствола $L = 100$ мм; путь затвора до вылета пули = 2 мм.

Решение:

3. УДАРЫ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ

Ударное взаимодействие деталей и механизмов является одной из характерных особенностей функционирования автоматического оружия. Удары эти отличаются широкой разновидностью (прямые, косые, скользящие и др.), высоким темпом их повторяемости и кратковременным приложением к деталям весьма больших сил, приводящих к резким изменениям скоростей деталей за весьма малый промежуток времени. Эти мгновенные силы могут быть как задаваемые, так и реакции мгновенно налагаемых связей. Действие мгновенной связи принято измерять ее *импульсом* (ударным импульсом), определяющим количества движения деталей ударной системы.

В процессе удара могут участвовать две и более деталей.

Различают упругие и неупругие удары.

Упругим ударом называется удар, при котором за мгновенным приложением связей следует мгновенное их снятие.

Неупругим ударом называется удар, при котором мгновенно наложенные связи сохраняются.

Здесь интересны два вопроса:

- определение прочностных размеров деталей механизмов, подвергающихся ударным нагрузкам;
- определение движения деталей механизмов при наличии ударов.

Более глубокий и подробный анализ системы со свободным затвором с использованием аппарата высшей математики приведен в [86].

Для того чтобы определить время удара, пользуются методом Герца, суть которого заключается в том, что соударяющиеся две детали приводят к форме шаров, имеющих ту же массу.

$$\tau = 2,943 \frac{m \sqrt{r_1 r_2}}{4X}$$

где

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad \lambda = \frac{4}{3v} \sqrt{\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}}$$

$$v = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2},$$

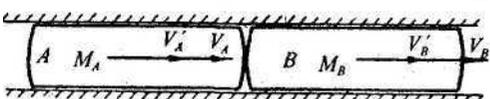
r_1, r_2 — радиус кривизны соударяющихся шаров; m_1, m_2 — массы шаров; μ_1, μ_2 — коэффициенты Пуассона; v_0 — скорость сближения деталей перед ударом; E_1, E_2 — модули упругости деталей на растяжение.

Период собственных колебаний соударяющихся деталей

$$\tau = 2L$$

где L — наибольшая из длин соударяющихся деталей; v — скорость распространения волн деформации сжатия (разжатия), ρ — массовая плотность материала.

Опытом установлено, что отношение относительных скоростей ударяю-



Прямой удар двух тел, совершающих прямолинейное поступательное движение

щихся деталей до и после удара зависит главным образом от материала этих деталей и может быть выражено следующей формулой

$$v_1 - v_1' = k(v_2 - v_2')$$

где v_1 и v_2 — скорости деталей до удара; v_1' и v_2' — скорости деталей после удара.

Коэффициент B , зависящий от материала ударяющихся деталей, называется коэффициентом восстановления.

По существу коэффициент B представляет собой потерянную при ударе кинетическую энергию и его значение измеряется от 0 до 1. Значение $B = 1$ соответствует абсолютно упругому удару, $B = 0$ — абсолютно неупругому удару, когда в результате удара соударяющиеся детали конструктивно сцепляются и не могут разъединиться.

Для соударяющихся деталей существуют математические зависимости для различных видов ударов, полученные на основе метода приведенных масс [86] и метода, когда массы выступают в своей ипостаси. Рассмотрим вначале полученные по второму способу на примере прямого удара двух деталей.

Црямой удар двух деталей

Прямой удар двух деталей наиболее часто наблюдается в случаях прямолинейного и поступательного движения

деталей водном направлении и реже — при комбинации поступательного движения одной детали и вращательного другой.

Для случая прямого удара двух деталей, совершающих прямолинейное поступательное движение при условии, что детали A и B движутся одновременно (см. рисунок) существуют зависимости:

$$1. \quad M_A V_A + M_B V_B = M_A v_1 + M_B v_2$$

где M_A и M_B — массы соударяющихся деталей; V_A и V_B — скорости деталей A и B до удара; v_1 и v_2 — скорости деталей A и B после удара,

2.

3.

$$4. \quad v_2' = V_B + \frac{M_A (V_A - V_B)(1 + B)}{M_A + M_B}$$

5. Общая скорость

$$1/ \quad \frac{M_A V_A + M_B V_B}{M_A + M_B}$$

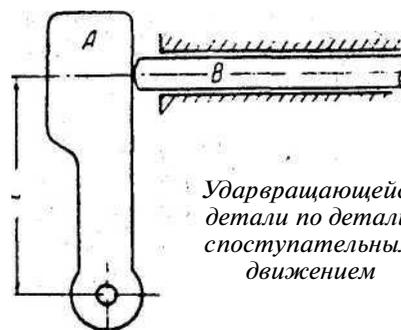
6. Ударный импульс

$$/ \quad \frac{M_A M_B (b+l)(V_A - V_B)}{M_A + M_B}$$

7. Потеря кинетической энергии

$$2 \quad \frac{1}{2} (M_A + M_B) (l-b)^2 (V_A - V_B)^2$$

При $B = 0$ скорости деталей A и B после удара равны ($v_1 = v_2$). При $B = 1$ получаем:



Удар вращающейся детали по детали с поступательным движением

Это свидетельствует о сохранении равенства абсолютных значений относительных скоростей деталей A и B до и после удара, об изменении знака относительной скорости, о равенстве абсолютных значений приращений скорости этих деталей в результате удара и о практически отсутствующей потере кинетической энергии при ударе.

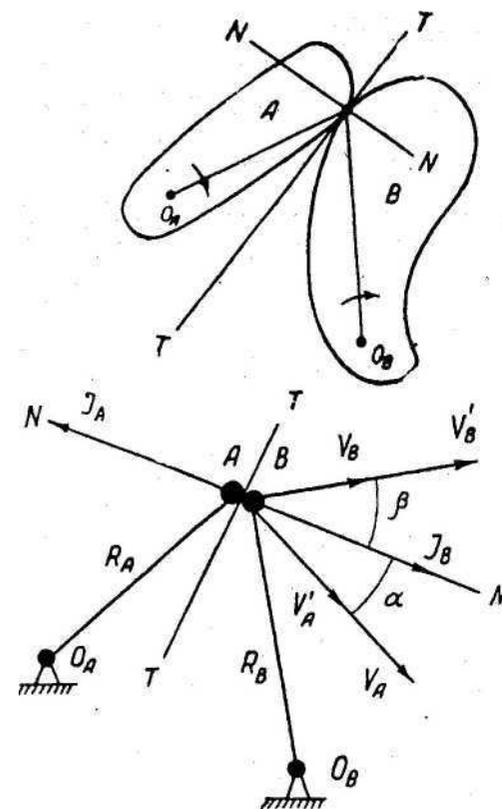
Полученные формулы также применимы для случая удара вращающейся детали по детали с поступательным движением.

Косой удар

Непрямой, или косой, удар двух деталей оружия наблюдается при взаимодействии деталей, совершающих в плоскости поступательное или вращательное движение в одном или разных направлениях, а также при ударе о деталь, которая вращается относительно неподвижной оси.

Рассмотрим случай удара двух деталей A и B , совершающих плоско-вращательное движение соответственно вокруг осей O_A и O_B .

В отличие от прямого удара при косом ударе линия удара $N-N$ отк-



Удар двух звеньев, вращающихся вокруг неподвижных осей и его идеализированная схема (внизу)

нена и непараллельна нормали к элементарной поверхности соударения, вследствие чего детали испытывают мгновенное приложение к ним поворотных моментов и реакций опор и связей.

Реальную схему можно заменить идеализированной, заменив детали A и B замещающими их приведенными массами m_A и m_B , полученными по зависимости

$$m = \frac{J}{r^2}$$

где J —момент инерции вращения; r — радиус.

В результате удара деталей произойдет изменение количеств их движения, равное импульсу силы удара /.

Расчетные формулы:

1. Для изменения количества движения обеих деталей

$$\begin{aligned} (V_A &= R_A I_A \cos \alpha \\ m_B (V_B - &= R_B I_B \cos \rho. \end{aligned}$$

где R_A, R_B — радиусы удара деталей A и B ; V_A & V_B — скорости точек, принадлежащих деталям A и B до удара; V'_A, V'_B — скорости после удара; I_A, I_B — импульсы удара.

Импульсы, действующие на обе детали, одинаковы

2. Передаточное число от точки B к точке A

$$\cos \alpha \frac{V_B}{V_A}$$

3. Коэффициент восстановления

$$\frac{V_B \cos \rho - V'_B \cos \alpha}{V_A \cos \alpha - V'_A \cos \rho}$$

4. Значение скоростей после удара

$$\begin{aligned} V'_A &= V_A - \frac{(V_A - V_B)(l + b)}{1 + \dots} \\ V'_B &= \dots \end{aligned}$$

При соударении стальных деталей обычно $B \sim 0,4$. Его таким и берут при расчетах.

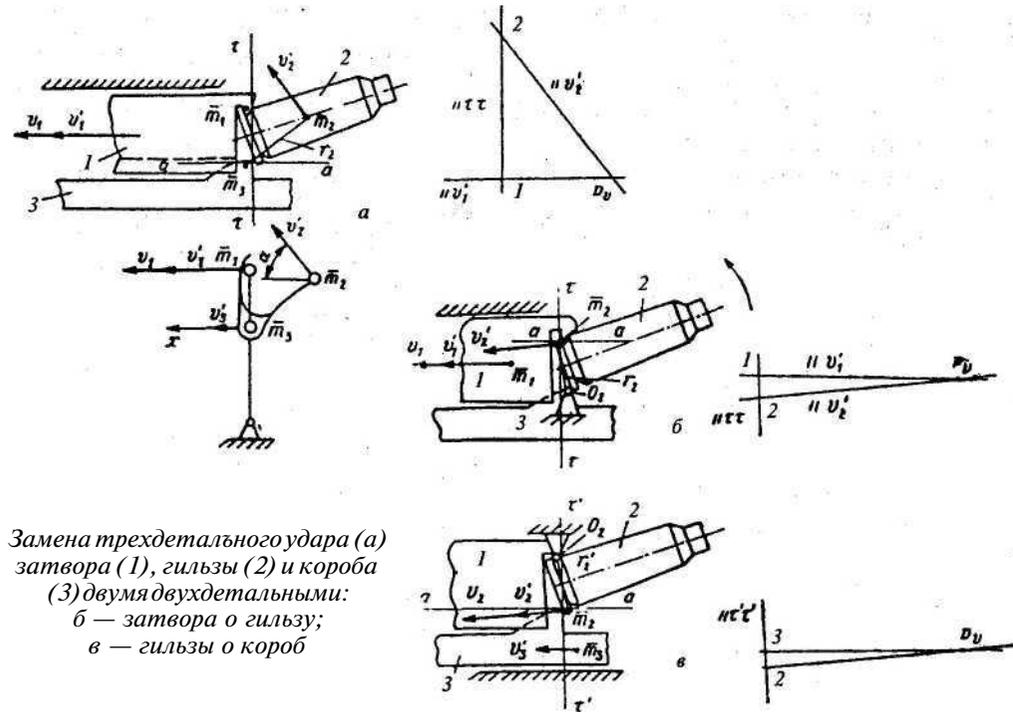
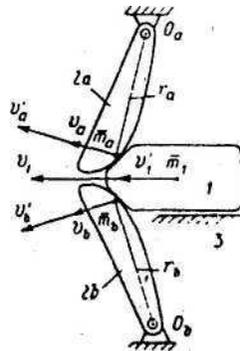
Ударное взаимодействие одной детали с несколькими деталями

Такой случай, когда детали кинематически не связаны друг с другом, встречается в механизмах закрывания (открывания) стволов, отпирания (запирания) затворов, подачи лент по мере включения их в работу при движении ведущей детали автоматики. Этот случай может привести к схеме двойного косога удара. Характеристики движения деталей в результате такого удара в значительной степени определяются одновременностью или разновременностью приложения к деталям ударного импульса основной детали.

Случай приложения ударного импульса основной детали одновременно к двум и более деталям с одинаковым передаточным числом i и равным коэффициентом восстановления B упрощенно может рассматриваться как удар двух деталей, замещающие массы которых m_A и m_B равны сумме замещающих масс «ведомых» деталей.

При различном значении передаточных чисел i_A, i_B и коэффициента вос-

Схема удара одной детали с несколькими деталями



Замена трехдетального удара (а) затвора (1), гильзы (2) и короба (3) двумя двухдетальными: б — затвора о гильзу; в — гильзы о короб

становления b_k, Φ, b_b анализ ударного взаимодействия усложняется.

Пр и м е р. Определить изменение скорости при ударе подвижных деталей о жесткий отражатель подвижного короба оружия при следующих исходных данных:

масса короба $m_k = 0,35$ кг с 7м; масса подвижных деталей $m_m = 0,0537$ кгс²/м; крутящий момент $J_2 = 0,02 \cdot 10^{13}$ кгс м с²; радиус $r_2 = \sqrt{\text{см}}$; скорость подвижных деталей $V_m = 7,2$ м/с; скорость движения короба $V_k = 0$; коэффициент восстановления $B = 0$.

Р е ш е н и е. При отражении гильзы из подвижного короба имеет место трехдетальный удар. Представим его в виде совокупности двух двухдетальных ударов, следующих друг за другом:

- удар подвижных деталей о внезапно остановленную отражателем гильзу;
- удар гильзы об отражатель короба.

Расчет изменения скоростей движения соударяемых деталей проводят применительно к этим ударам.

1. Определяют замещаемую массу гильзы

$$m_{\text{гильзы}} = \frac{0,0196 \cdot 10^3}{1^2} = 0,0196 \cdot 10^3 \text{ кгс}^2/\text{см} = 0,00196 \text{ кгс}^2/\text{м}.$$

2. Принимая $V_k = 0$ и $i = 1$, определяют скорость подвижных деталей после удара о гильзу

$$V_{\text{пд}} = V_{\text{пд}} - \dots$$

$$= 7-25 \cdot \frac{0,0537}{1 + \frac{0,00196}{0,00196}} = 6,9860 \text{ м/с.}$$

Отсюда

$$V; = i F; = 1,0 \cdot 6,986 = 6,986 \text{ м/с.}$$

3. Определяют угловую скорость вращения гильзы

$$\omega_r = \frac{V_r}{r_2} = \frac{6,986}{0,01} = 698,6 \text{ 1/с.}$$

4. Определяют скорость короба после удара гильзы об отражатель

$$1 + \frac{6,986}{0,35} \cdot 0,0389 = 0,0389 \text{ би/с.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е. В., Соколинский В. Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М.: Наука, 1969.
2. Алексеев О., Михайлов Ф. ТТ, Макаров, ПСМ. М., 1997.
3. Алферов В. М. Конструкция и расчет автоматического оружия. М., 1977.
4. Альбертин А., Башарин А. Основы устройства материальной части стрелкового оружия военных образцов. М., 1936.
5. Ананьев И. Н. Основы устройства прицелов. М.: Воениздат, 1947.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя. М.: Машиностроение, 1973.
7. Батуев Г. С. и др. Инженерные методы исследования ударных процессов. М.: Машиностроение, 1969.
8. Благоврагов А. А. Исследование пулемета с отводом пороховых газов. Известия Артиллерийской академии РККА, № 5, 1933.
9. Благоврагов А. А. Основы проектирования автоматического оружия. М.: Оборонгиз, 1940.
10. Благоврагов А. А. Материальная часть стрелкового оружия. М.: Оборонгиз, 1945.
11. Блюм Р. Самозарядная винтовка обр. 1940 г. М., 1941.
12. Блюм М. М., Шишкин И. Б. Охотничье ружье. М., 1994.
13. Богданов И. Р. и др. Основы устройства стрелкового оружия. М.: Воениздат, 1953.
14. Богданов И. Р. Кириллов В. М. Основы устройства стрелкового оружия. Л., 1957.
15. Болотин А. Н. История советского стрелкового оружия и патронов. СПб., 1995.
16. Борисенко А. И. Газовая динамика двигателей. М.: Оборонгиз, 1962.
17. Бравин Е. Л. и др. Стрелково-пушечное вооружение самолетов. М.: Оборонгиз, 1940.
18. Бравин Е. Л. Расчеты автоматики и определение темпа стрельбы. М., 1939.
19. Вейн В. Л. Динамика машинных агрегатов. Л.: Машиностроение, 1969.
20. Венцель Д. И. Внутренняя баллистика. М., 1948.
21. Вилинов Л. И. Основания устройства и эксплуатации стрелкового оружия и гранатометов. М.: Воениздат, 1978.
22. Воробьев П. И. Пироксилин и бездымный порох. М., 1940.
23. Глушинский С. В. и др. Основы устройства стрелкового оружия. М., 1961.
24. Годиенко Н. И. Теория и расчет артиллерийских орудий. Пенза, 1967.
25. Горюх Э. А. Основы проектирования автоматического оружия. М., 1954.

26. Горов Э. А. Основы проектирования автоматического оружия. М., 1955.
27. Горов Э. А. Некоторые вопросы анализа и синтеза механизмов автоматического оружия. М., 1946.
28. Горов Э.А., Гнатовский Н.И. Основы устройства автоматического оружия. Пенза, 1960.
29. Гуревич М. В. Боеприпасы стрелкового оружия и малокалиберных пушек. М., 1944.
30. Девятьяров Д. К. Расчет газоотводных устройств. Пенза, 1971.
31. Дмитриевский А. А. Внешняя баллистика. М., 1979.
32. Дроздов Н. Ф., Угольников Н. А. Специальный способ решения основной задачи внутренней баллистики. Л., 1929.
33. Дроздов Н. Ф. Проектирование орудий. Л., 1922.
34. Жук А. Революеры и пистолеты. М., 1983.
35. Жук А. Энциклопедия стрелкового оружия. М., 1997.
36. Жук А. Современные пистолеты и револьверы. М., 1998.
37. Калашников М. Т. Записки конструктора-оружейника. М, 1992.
38. Карзонов Л. Я, Киселев А. И. Азбука изобретательства. М., 1976.
39. Кириллов В. М. Краткая терминология стрелкового оружия. Пенза, 1970.
40. Кириллов В. М. и др. Конструкция стрелкового оружия. Пенза, 1972.
41. Кириллов В. М. Основы устройства и проектирования стрелкового оружия. Пенза, 1963.
42. Кириллов В.М., Меньшов Н.П. Основы устройства и проектирования пуль патронов стрелкового оружия. М., 1955.
43. Кириллов В. М. Материальная часть стрелкового оружия. Пенза, 1959.
44. Кулагин В. И. Таблицы для расчета боковых газоотводных двигателей. Ижмехинститут, 1969.
45. Кулагин В. И., Лапина С. И. Определение термодинамических и физических констант пороховых газов. Ижмехинститут, 1972.
46. Малое А. Производство патронов стрелкового оружия. М., 1947.
47. Мамонтов М. А. Некоторые случаи течения газа. М.: Оборонгиз, 1951.
48. Мамонтов М. А. Теоретические основы методики проектирования боковых газоотводных двигателей автоматики. Труды ТМИ Вып. 8А, 1959.
49. Маркевич В. Е. Ручное огнестрельное оружие. СПб.—М., 1996.
50. Меньшов И. Г. Расчет веса, положения центра тяжести и момента инерции пуль. М., 1946.
51. Мураховский В. К, Федосеев С. Л. Оружие пехоты. М., 1992.
52. Мураховский В. К, Федосеев С. Л. Оружие пехоты. М., 1997.
53. Мураховский В. К, Слуцкий Е. А. Оружие специального назначения М., 1995.
54. Рихтер А. А. Логика конструкторской работы., М., 1974.
55. Слуховицкий В. Е. Баллистическое проектирование. М. 1945.
56. Слуховицкий В. Е. Внешняя баллистика. М., 1947.
57. Трифонов В. Н. Охотничьи боеприпасы. Минск, 1996.
58. Федоров В. Г. Основы устройства автоматического оружия. М., 1931.
59. Федоров В. Г. Эволюция стрелкового оружия. Ч. 1—2. М., 1938—1939.
60. Федосеев С.Л. Все о пистолете. М., 1998.
61. Янчук А. М. Справочные баллистические и конструктивные данные образцов стрелкового оружия. Л., 1935.
62. Янчук А. А. Справочные баллистические и конструктивные данные образцов стрелкового оружия. Л., 1943.
63. Автомат Федорова М., 1923.
64. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирования. М.: Машиностроение, 1975.
65. Журнал «Оружейный довр^ 1994—1998. W *
66. Журнал «Оружие», 1995—1999.
67. Журнал «Ружье». Оружие и амуниция, 1997—1998.
68. Журнал «Ружье. Российский оружейный журнал ружье», 1995—1999.
69. Журнал «Мастер-ружье», 1996—1999.
70. История винтовки. Энциклопедия техники/Серия «Стрелковое оружие». Вып. 2, 1993.
71. Логика научного поиска. Ч. I и II. Свердловск, 1977.
72. Наставление по стрелковому делу. 9-мм автоматический пистолет Стечкина (АПС). М., 1960.
73. Наставление по стрелковому делу. Винтовка обр. 1891/30 гг. и карабины обр. 1938 г. и 1944 г. М., 1946.
74. Наставление по стрелковому делу. Автомат (пистолет-пулемет) обр. 1943 г. конструкции Судаева А. П. М., 1955.
75. Наставление по стрелковому делу. Автомат (пистолет-пулемет) обр. 1941 г. конструктора Шпагина Г. С. М., 1955.
76. Наставление по стрелковому делу. Пистолет-пулемет обр. 1940 г. Красноярска, 1942.
77. Наставление по стрелковому делу. 7,62-мм автомат Калашникова. М., 1968.
78. Наставление по стрелковому делу, 7,62-мм самозарядный карабин Симонина (СКС). М., 1976.
79. Наставление по стрелковому делу. 7,62 мм ручной пулемет Дегтярева (ЦП). М., 1941.
80. Наставление по стрелковому делу. 14,5-мм крупнокалиберный пулемет Владимирова (КВПТ). М., 1992.
81. Наставление по стрелковому делу. Револьвер обр. 1895 г. и пистолет обр. 1933 г. М., 1948.
82. Наставление по стрелковому делу. Основы стрельбы из стрелкового оружия. М., 1952.
83. Основы устройства стрелкового оружия/Под ред. В. Н. Зайцева. М., 1953.
84. Пистолеты и револьверы. Энциклопедия техники/Серия «Стрелковое оружие». Вып. 1, 1992.
85. Ручные пулеметы армий стран—участниц Второй мировой войны. Ч. 1. Рига, 1997.
86. Теория и расчет автоматического оружия. Пенза, 1979.
87. 9-мм пистолет Макарова. Краткое руководство службы. М., 1959.

- и условия работы...или.*\$11
 2. Типы выстрелов...>...;4Л..1;1в3 >
 3. Типы отражателей*...<...>...<'>...ЛЙ7*
 4. Расчет механизма удаления гильды..... 189

Глава XII

Прицельные приспособления

1. Назначение и применение прицелов.....193
2. Конструкции прицельных приспособлений.....194
 - Откидные прицелы...../.....194
 - Рамочные прицелы.....*..... 195
 - Ступенчато-рамочные прицелы.....195
 - Столбовые прицелы.....196
 - Секторные прицелы.....196
 - Постоянные прицелы.....197
 - Барabanные прицелы.....197
 - Диоптрические прицелы.....-198
 - Формы прицельных прорезей и мушек ..199
3. Расчеты прицелов.....Г.....200
4. Недостатки механических прицелов 203

Глава XIII

Предохранители и ложи

1. Предохранители от выстрела при незапертом затворе.....204

206

209

Глава XIV

Вспомогательные механизмы

1. Поглотители отдачи.....215
2. Дульные тормоза.....220
3. Пламегасители.....225
4. Глушители.....226

Глава XV

Пружины

1. Виды и назначение пружин.....230
2. Расчеты пружин.....232
 - Цилиндрические винтовые пружины 232
 - Расчет винтовых пружин кручения 238
 - Пластинчатые пружины.....239
3. Изготовление пружин.....241

Глава XVI

Динамика автоматического оружия

1. Основное уравнение динамики оружия.. 243
2. Системы со свободным затвором.....243
3. Удары деталей механизмов.....;... 245
 - Прямой удар двух деталей.,ц..... 246
 - Косой удар.....:.....;.....247
 - Ударное взаимодействие одной детали с несколькими деталями248

Литература.....251