УДК: 623.41.6 DOI: 10.53816/20753608_2022_3_148

ТАЙНА «ПАРИЖСКОЙ ПУШКИ»

MYSTERY OF THE «PARIS GUN»

По представлению чл.-корр. РАРАН А.Б. Борзова

А.К. Ефремов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

A.K. Efremov

Причиной таинственности конструкции сверхдальнобойной «Парижской пушки» являлось отсутствие сведений о геометрических параметрах зарядной каморы. Оказалось, что лейнер, вставленный в ствол орудия-прототипа, рассверливался под гильзу 280-мм морского орудия, что определило конфигурацию каморы как цилиндра соответствующего диаметра и объема. Баллистическая калибровка позволила определить характеристики процесса выстрела и параметры траектории снаряда. Была подтверждена способность пушки вести стрельбу на дальность до 128 км. Критерием адекватности результатов расчетов является их соответствие таблицам стрельбы.
Ключевые слова: сверхдальнобойная стрельба, «Парижская пушка», зарядная камора, орудие-прототип, лейнер, 280-мм гильза, баллистическая калибровка, дальность стрельбы до 128 км.

The reason for the mystery of the design of the ultra-long-range «Paris gun» was the lack of information about the geometric parameters of the charge chamber. It turned out that the liner, inserted into the barrel of the prototype gun, was reamed for the cartrige of the 280-mm naval gun, thus determining the configuration of the chamber as a cylinder with appropriate diameter and volume. Ballistic calibration made it possible to determine the characteristics of the shot process and the parameters of the projectile trajectory. The ability of the gun to fire at a distance of up to 128 km was confirmed. The criterion for the adequacy of the calculation results is their compliance with the firing tables.
Keywords: ultra-long-range bombardment, the «Paris gun», charge chamber, prototype-gun, liner, 280-mm cartrige, ballistic calibration, firing range 128 km.

У всех было свежо в памяти большое впечатление, произведенное обстрелом немцами Парижа с дальностью 128 км, не столько причиненными при этом разрушениями, сколько техникой, позволившей вести стрельбу на такие дальности [1].

Прохоров Б.А.

Введение

С началом Первой мировой войны стало очевидно, что дальнобойности орудий уделяется недостаточно внимания. Тяжелые крупнокалиберные наземные орудия у воюющих сторон были, однако дальность их стрельбы не превышала 6…9 км [2]. Постепенно война приобретала позиционный характер, и возникла необходимость поражения пунктов управления и снабжения, путей сообщения, а также мощных оборонительных сооружений. На дальнобойную артиллерию возлагалась роль эффективного средства не только нападения, но и обороны [3].

В 1914 году по заказу флота Круппом была разработана пушка 35 cm SK L/45 (в Германии было принято выражать калибры в см), но применена она была лишь в 1917 г., в качестве полевого орудия, для обстрела Дувра из Кале. Имея ограниченный угол возвышения (16°), орудие стреляло снарядами массой 600 кг при начальной скорости 815 м/с на дальность до 20 км. Следующим шагом было применение в береговой артиллерии модифицированного 38-см мощного морского орудия главного калибра 38 cm SK L/45 (Langer Max), установившего новый рекорд дальности (47,5 км) [2].

Оба эти орудия послужили прототипами 21-см сверхдальнобойной пушки, разработанной специально для обстрела французской столицы в 1918 году. В отечественной литературе распространено название «Колоссаль», появившееся в 30–40 годы. Официальное название — «Орудие кайзера Вильгельма» (Wilhelmschütze), но чаще всего его называют «Парижской пушкой» (Paris Kanonen, Paris Gun, Parisgeschütze). В дальнейшем — сокращенно «ПП»[1]. Заметим, что орудие, обстреливавшее Париж, до сих пор ошибочно называют «Большой Бертой» (на самом деле это осадная 420-мм мортира, или тяжелая гаубица).

Это одна из неразгаданных тайн в истории артиллерии, поскольку после перемирия орудия были уничтожены, а техническая документация исчезла. Встречающиеся в известной литературе сведения отличаются большим разбросом, процесс постепенного уточнения параметров во времени не наблюдается, т.е. он не «сходится асимптотически» к каким-то значениям, которые можно было бы признать достоверными.

Целесообразно выделить источники лишь наиболее полной (пусть даже не всегда достоверной) информации. Американский эксперт по артиллерии Миллер занялся поиском и профессиональной систематизацией материалов о «ПП» сразу после окончания Первой мировой войны. Результаты большой поисковой работы обобщены в монографии [4]. Книга [5] уникальна потому, что в нее включена ранее неопубликованная рукопись создателя «Парижской пушки» профессора Раузенбергера[2]. Это важнейший исторический источник, найденный и опубликованный основным автором книги — Буллом[3].

---

[1] Русский военный инженер В.М. Трофимов еще в 1911 г., предложил проект тяжелого сверхдальнобойного орудия, рассчитанного на дальность стрельбы более 100 км, но проект был отклонен. Трофимов верно определил угол возвышения «Парижской пушки», начальную скорость, углы и скорость падения снаряда и время полета. Впоследствии являлся председателем КОСАРТОП (Комиссии особых артиллерийских опытов).

[2] Фриц (Фридрих) Раузенбергер [Fritz (Friedrich) Rausenberger] (1868–1926) — окончил военную Академию в Гамбурге и артиллерийскую инженерную Академию в Шарлоттенбурге. Занимался научно-техническими исследованиями. В 1896 г. был принят на работу в фирму Круппа (Fried. Krupp AG) в Эссене, где продвинулся до руководителя артиллерийского отдела, вошел в состав совета директоров. Известен как крупный специалист по артиллерии, автор книги по теории отката (1907). Один из разработчиков 42-см мортиры «Большая Берта» (1904–1914 гг.). Предложил план обстрела британского порта Дувр из дальнобойных орудий через Ла-Манш на дальность 37 км. Совместно с Отто фон Эберхардом руководил программой проектирования «Парижской пушки».

[3] Джеральд Булл (Gerald V. Bull) (1928–1990) — канадский конструктор артиллерийских систем, руководитель проекта HARP (High Altitude Research Project — Проект высотных исследований); автор идеи о запуске спутников из суперпушки на околоземную орбиту с помощью суборбитального многоступенчатого снаряда-ракеты. Занимался повышением дальнобойности ствольной артиллерии. Создал суперпушку «Большой Вавилон» калибром 1000 мм, снаряд массой 1–2 т, дульная скорость 4000 м/с, дальность до 1000 км. Интересовался «Парижской пушкой» как прототипом своего суперорудия и занимался ее компьютерной реконструкцией.

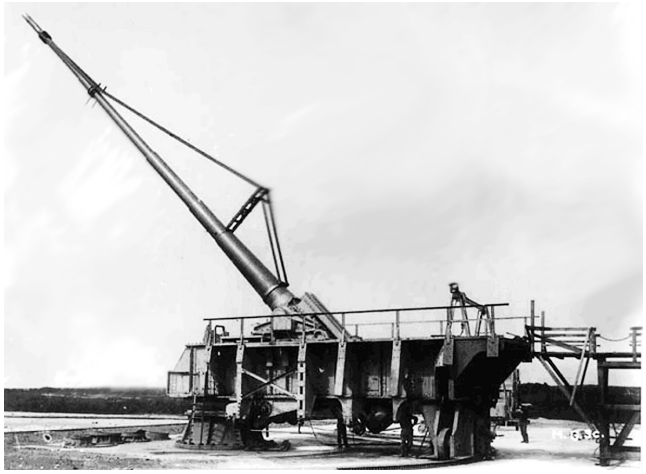


Рис. 1. «Парижская пушка»

Все, кто интересовался «Парижской пушкой» (рис. 1), сходятся во мнении, что непреходящая таинственность этого орудия обусловлена отсутствием каких-либо сведений о нем как уникальном техническом достижении.

Основная загадка и «туманность» конструкции пушки — это конфигурация и геометрические параметры зарядной каморы. Нельзя не согласиться с Буллом, предлагавшим ограничиться выявлением «выдающихся особенностей конструкции и общего состояния германской артиллерийской науки в конце Первой мировой войны», как бы «оставляя за скобками» остальные факторы, связанные с применением этого орудия: стратегическое значение, материальный и психологический эффект от обстрела Парижа и т.д. Булл подробно проанализировал эволюцию конструкции снаряда и описал систему обтюрации гладкого насадка ствола. Но нельзя не упомянуть и ошибки, допущенные им при реконструкции зарядной каморы пушки.

Однако так ли таинственна она на самом деле? Оказалось, что ключ к разгадке фактически зашифрован в рукописи Раузенбергера [5]. В нее надо только внимательно вчитаться. Опираясь главным образом на нее и учитывая другие источники, автор попытался обосновать конфигурацию и параметры каморы. Их реалистичность подтверждается результатами математического моделирования процесса выстрела и определения параметров траектории снаряда. Некоторые вопросы, связанные с историей и конструкцией «ПП», рассматривались в статьях автора [6, 7].

Дальность стрельбы — 100 км

Эберхард выдвигает инновационное предложение — использовать 21-см вращающийся подкалиберный снаряд дальнобойной формы массой 90 кг с отделяющимся поддоном («цилиндрическая секция») массой 120 кг. При соответствующей массе заряда снаряд необходимо разогнать до скорости 1500 м/с, и тогда будет обеспечена дальность 100 км. Такие снаряды позволили бы вести стрельбу из обычных орудий и существенно увеличить живучесть ствола. Приоритетность данного решения, кстати, подтверждается немецким патентом № 301298), выданным уже в 1916 году [8]. Отметим, что в этом же году Круппом получен патент № 301307 на дальнобойный сверхлегкий снаряд (рис. 2).

Отображен важный результат, зафиксированный при полигонных испытаниях. До этого считалось, что при одинаковой форме и дульной энергии лучше преодолевает сопротивление воздуха снаряд, имеющий наибольшую поперечную нагрузку (отношение массы снаряда к площади миделевого сечения). Однако было установлено, и об этом подробно пишет Раузенбергер, что у крупнокалиберных орудий при высоких начальных скоростях и больших углах возвышения снаряд летит практически в безвоздушном пространстве. Таким образом, увеличение дальности определяется не поперечной нагрузкой, а начальной скоростью. Поэтому более легкий снаряд при аналогичной дульной энергии и углах возвышения около 50° может

Рис. 2. Дальнобойный сверхлегкий снаряд

достичь значительно большей дальности, чем тяжелый снаряд. Предлагаемое техническое решение — снаряд с баллистическим наконечником, который примерно вдвое легче обычного снаряда той же внешней формы. Это фактически и есть идея, реализованная в конструкции снаряда для «ПП».

Однако продолжим. Признав теоретическую новизну предложения Эберхарда, Раузенбергер тем не менее отвергает его, имея в виду такие проблемы, как отсутствие гарантии надежного отделения поддона, непредсказуемость начальных возмущений траектории снаряда, нерациональное соотношение масс снаряда и поддона и т.д.

Надо было оценить условия, необходимые для обеспечения стрельбы на 100 км [7]. Зададимся углом возвышения 50° и проанализируем параметры траектории на основе интегрирования системы уравнений внешней баллистики, описывающей движение снаряда как материальной точки массой q [9, 10]

$$\frac{dv}{dt} = -J - g\sin\theta;\ \frac{dx}{dt} = v\cos\theta;$$
$$\frac{dy}{dt} = v\sin\theta;\ \frac{d\theta}{dt} = -\frac{g\cos\theta}{v}, \qquad (1)$$

где v — скорость снаряда; $J = R/q = cH(y)F(v)$; R — сила сопротивления воздуха, $c = id^2 \cdot 10^3/q$ — баллистический коэффициент, i — коэффициент формы снаряда, d — калибр, $H(y) = \rho/\rho_0$ — зависимость относительной плотности воздуха от высоты полета, $F(v) = 4{,}74 \cdot 10^{-4} v^2 C_x(M)$ — закон сопротивления воздуха, $C_x(M)$ — коэффициент лобового сопротивления для эталонных снарядов, $M = v/a$ — число Маха, a — скорость звука в данной точке траектории; θ — угол между касательной к траектории и линией горизонта. В расчете используем закон сопротивления воздуха Сиаччи, который был известен немецким артиллеристам в период разработки «ПП».

Масса снаряда $q = C_q \cdot d^3 \cdot 10^3$, где C_q (кг/дм^3) — коэффициент массы снаряда, т.е. $c = i/(C_q d)$. Для фугасных снарядов, к числу которых относился и снаряд «ПП», $C_q = 8 - 14$ кг/дм^3, т.е. в среднем 11 кг/дм^3 [11].

В табл. 1 приведены значения дальности в зависимости от баллистического коэффициента и начальной скорости снаряда. Ориентировочное значение коэффициента формы дальнобойных снарядов по отношению к закону Сиаччи $i = 0{,}4$. Далее находим калибр $d = i/(c \cdot C_q)$ и, соответственно, массу снаряда $q = C_q d^3$.

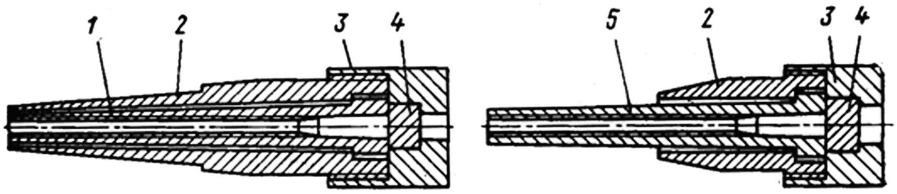
«Более практичным» Раузенбергеру представлялся альтернативный подход: подобрав заряд, «просто» разогнать 21-см снаряд массой 100 кг до 1500 м/с. Из табл. 1 видно, что начальной скорости 1500 м/с соответствует масса снаряда 105,8 кг, что фактически совпадает с уточненным значением, (106 кг) — см. ниже. Согласно табл. 1, 0,21 м — ближайший штатный калибр, т.е. его выбор обоснован. Далее — потребуется лейнер большой длины, который следует вставить в ствол крупнокалиберного орудия, выполняющего роль лафета. Фактически же был реализован вариант вставки свободной трубы, которая выступала из кожуха орудия-прототипа (рис. 3, *б*) [12].

Раузенбергер считал, что «единственным рациональным применением орудия, способного стрелять на 100 км, был бы обстрел сооружений Парижа». Было очевидно, что сверхдальнобойное орудие значительно эффективнее при стрельбе по объекту большой площади, чем по точечному. А Париж — разумеется, наиболее заманчивая цель. Явившись, таким образом, инициатором обстрела Парижа, фирма Круппа стала продвигать эту идею в Верховное командование. Получив в конечном итоге от Люден-

Таблица 1

Значение дальности с учетом баллистического коэффициента и начальной скорости снаряда

v_0, м/с						
	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
1000	42,4	40,4	38,5	36,7	35,4	33,7
1100	51,7	49,0	46,4	44,1	42,0	40,0
1200	63,0	59,5	56,3	53,2	50,5	47,9
1300	76,6	72,3	68,3	64,5	61,0	57,7
1400	92,4	87,4	82,5	78,0	73,6	69,6
1500	110,5	104,6	99,0	93,7	88,6	83,7
1600	130,6	124,0	117,7	111,6	105,7	100,1
1700		145,5	138,5	131,6	125,0	118,7
Скорость для 100 км	1440	1473	1505	1535	1567	1600
d, м	0,242	0,224	0,214	0,202	0,191	0,181
q, кг	156	124	108	90,7	76,6	65,2



а *б*

Рис. 3. Схемы стволов: а — с лейнером; б — со свободной трубой:
1 — лейнер; 2 — оболочка; 3 — казенник; 4 — затвор; 5 — свободная труба

дорфа[4] и Гинденбурга[5] не только «благословление», но и приказ ускорить работу, Раузенбергер так уточняет пути решения задачи.

В ствол 38-см орудий L/45 будут вставлены лейнерные трубы калибром 21 см длиной 21 м (рис. 4).

Зарядная камора будет переделана под существующую гильзу морского орудия 28 cm L45. Заряд массой примерно 120 кг из трубчатого пороха С/12 обеспечит максимальное давление

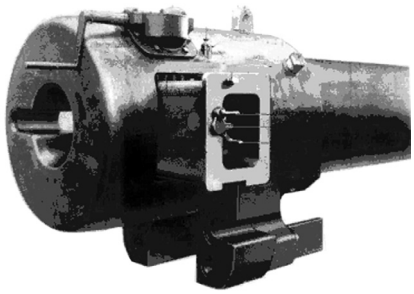


Рис. 4. Лейнер вставлен в ствол 38-см пушки Langer Max

[4] Людендорф Эрих (Erich Friedrich Wilhelm Ludendorff, 1865–1937) — помощник Гинденбурга, в 1914–1916 гг. фактически руководил военными действиями на Восточном фронте, а в 1916–1918 гг. — всеми вооруженными силами Германии, впоследствии способствовал приходу Гитлера к власти.

[5] Гинденбург Пауль (Paul Ludwig Hans Anton von Beneckendorff und von Hindenburg, 1847–1934) — генерал-фельдмаршал, с ноября 1914 г. командующий войсками Восточного фронта, с августа 1916 г. — начальник Генштаба, фактически главнокомандующий вооруженными силами, рейхспрезидент Германии (1925–1934).

3600 ат (360 МПа) и дульную скорость 1500 м/с снаряда массой 100 кг. При стрельбе дальнобойным снарядом с углом возвышения 50° дальность составит 100 км. Для быстрого повторного использования изношенных стволов в течение нескольких недель, они будут рассверлены до 22,4 см и даже, возможно, до 23,2 см.

Решающее значение с точки зрения разгадки тайны «ПП» имеет тот факт, что Раузенбергер, указав тип гильзы для «ПП», тем самым определил диаметр зарядной каморы и ее конфигурацию как цилиндра. Это и есть упоминавшаяся выше «шифровка».

Обратим внимание на то, что, в отличие от традиционной конфигурации при раздельно-гильзовом заряжании, диаметр каморы под гильзу 28-см орудия будет больше калибра снаряда. Принципиальная возможность использования каморы большего диаметра отображена в техническом решении, защищенном патентом Круппа № 642754 («Камора дальнобойного орудия»), рис. 5 [7]. Патент выдан в 1935 году, и данная идея наверняка навеяна «Парижской пушкой». В пояснительной части патента сказано: «Особенностью этой каморы является ее большой диаметр. Если у дальнобойного орудия, при его большом заряде, сделать камору нормального диаметра, то длина ее достигнет гигантских размеров, порядка нескольких метров. Конструкция, предлагаемая патентом, позволяет укоротить камору и, соответственно, значительно увеличить нарезную часть канала ствола. Увеличение диаметра казенника будет полезно и как мера уравновешивания орудия. Гильза такого орудия для удобства ее изготовления состоит из двух частей».

Баллистическая калибровка «ПП»

Роль морского орудия 28 cm SK L/45 двоякая. С одной стороны, оно как бы выдало «в аренду» свою зарядную камору лейнеру, «разрешив» изменение ее длины в случае необходимости. А, с другой, из этого орудия будет произведен вычислительный «выстрел» для баллистической калибровки «ПП». Поэтому приведем набор данных о нем [4].

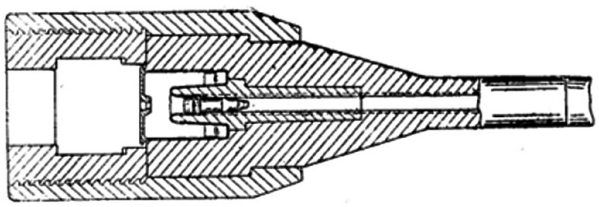


Рис. 5. Патент Круппа

Основные характеристики: длина ствола 12,006 м, длина нарезной части 9,699 м, объем зарядной каморы 0,150 м^3; массы снарядов: бронебойный — 300,7 кг, фугасный — 302 кг. Заряд: основной (в гильзе) — 79 кг, передний — 26 кг, т.е. общая масса заряда o = 105 кг. Дульная скорость снаряда 855 м/с. Рабочее давление 330 МПа; живучесть ствола 210–260 выстрелов. Дальность стрельбы 18,9 км (при угле возвышения 20°).

Принимаем стандартные параметры внутренней баллистики: сила пороха $f = 1{,}1 \cdot 10^6$ Дж/кг; коволюм $\alpha = 0{,}8 \cdot 10^{-3}$ м^3/кг; плотность пороха $\delta = 1{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3, давление форсирования $p_0 = 30$ МПа.

Важный параметр — плотность заряжания $\Delta = 105/0{,}150 = 700$ кг/м^3. Данное значение считается оптимальным, поскольку оно среднее в пределах апробированного на практике диапазона. Вполне возможно, что немецкие конструкторы, занимаясь проектированием и модификацией артиллерийских систем, стремились по возможности выдерживать значение плотности заряжания близким к оптимальному. Геометрические параметры орудия:

– площадь сечения канала ствола

$$s \approx 0{,}81 d^2 = d^2 = 0{,}81 \cdot 0{,}28^2 = 0{,}0635 \text{ м}^2;$$

– зарядная камора:

длина $l_k = 12{,}006 - 9{,}699 = 2{,}3$ м;

площадь сечения $s_k = 0{,}150/2{,}3 = 0{,}0652$ м^2;

диаметр $d_k = 2\sqrt{s_k/\pi} = 2\sqrt{0{,}0652/\pi} = 0{,}288$ м.

Диаметр каморы, как и должно быть при классической компоновке, примерно на 2 % превышает калибр снаряда (он фактически равен 11 дюймам, т.е. 283 мм). Важно подчеркнуть, что это относится и к геометрии каморы лейнера «ПП».

28-см гильза, которой принадлежит роль ключа к разгадке тайны «ПП», была, вероятно, выбрана Раузенбергером потому, что имелись довольно большие ее запасы. Она входила в боекомплект сразу трех орудий данного калибра (отличавшихся длиной ствола), а именно 28 cm SK L/40, 28 cm SK L/45 и 28 cm SK L/50. Известно, что даже во время Второй мировой войны при-

менялись не только эти орудия, но и новые модификации — 28 cm SK C28 и 28 cm SK C34. Гильза латунная, размеры 283×1271 мм [3, 13]. Увеличенный диаметр закраины (325,3 мм) был необходим для повышения надежности запирания (обтюрации) клинового затвора.

Оба заряда (основной и передний) досылали в орудие за один ход прибойника. Марка пороха — трубчатый (Rohrpulver) RP C/12. Это кордитный порох, который использовали в немецких морских орудиях главного калибра. Его достоинство — относительно невысокие температура и скорость горения, что повышало живучесть стволов и снижало взрывоопасность. На необходимость именно таких свойств пороха в дальнобойных орудиях указывал в свое время Н.А. Упорников [2].

Закон газообразования для трубчатого пороза — двухчленный [9]:

$$\psi = \kappa\left(z + \lambda z^2\right),$$

где ψ — относительная масса сгоревшей части заряда; z — относительная толщина горящего слоя; $\kappa = 1 + \zeta$; $\lambda = \zeta/(1+\zeta)$; $\zeta = e_1/a$. В таблице стрельбы (рис. 6) указаны размеры трубки: длина $2a = 1230$ мм, наружный диаметр 20 мм, внутренний 8 мм, т.е. толщина стенки порохового зерна $2e_1 = 6$ мм. При указанных размерах можно принять $\zeta \approx 0$. Соответственно, получаем линейный закон газообразования: $\psi = z$.

Теперь необходимо проверить, была ли способна первая версия «ПП» обеспечить снаряду массой 106 кг начальную скорость 1500 м/с. Однако пока известны не все нужные для этого исходные данные, т.е. требуется баллистическая калибровка, и 28-см орудие окажет нам вторую «услугу». Интегральной внутрибаллистической характеристикой артиллерийской системы является безразмерный параметр Н.Ф. Дроздова [9]

$$B = \frac{\left(sI_k\right)^2}{\phi q f \omega}.$$

В это выражение входят две априорно неизвестные величины: ϕ — коэффициент фиктивности массы снаряда и $I_k = e_1/u_1$ — конечный импульс пороха, где u_1 — единичная скорость горения (при атмосферном давлении). Коэффициент фиктивности для зарядной каморы без уширения (как в случае «ПП») определяется по формуле

$$\phi = K + \frac{1}{3}\frac{\omega}{q}.$$

Коэффициент K имеет аналитическое выражение, но на практике обычно руководствуются эмпирическими рекомендациями: для гаубиц $K = 1{,}06$; для пушек: при $25 \le l_o / d \le 40$

Ganz geheim.

Nr.

Schußtafelauszug
für die
lange 21 cm Kanone
in Schießgerüst
mit Sprenggranaten l. 4,5 m. Bdz. u. Jz.
(mit Haube).

Gewicht des Geschosses: 104 bis 106 kg
„ der Sprengladung: 6,85 kg (Fp. 1)
„ „ Ladung in der Hauptkartusche:
70 kg R.P.C 12 (1230 × 20 8).

Die Schußtafeln sind aufgestellt für 761 mm Barometerstand. Unter Barometerstand ist derjenige am Geschützaufstellungsort und nicht der auf Meeresniveau reduzierte zu verstehen.

Berlin, 1918.
Reichs-Marine-Amt.

Reduzierte Schußweitentafel für 50° Erhöhung
bei 761 mm Barometerstand, Schußrichtung SW
und 15° Pulvertemperatur.

Reduzierte Entfernung km	Anfangsgeschwindigkeit m	Seitenverschiebung	Fallwinkel	Flugzeit Sek.	Endgeschwindigkeit m
128	1616	49	55°	182,0	763
126	1635	49	55⁷	180,5	756
124	1624	49	55⁹	179,1	749
122	1613	49	55¹⁰	177,8	741
120	1602	49	55¹¹	176,4	731
118	1590	49	55¹³	175,4	721
116	1579	49	55¹⁵	174,2	713
114	1568	49	56	173,0	707
112	1556	49	56²	171,8	702
110	1545	49	56⁴	170,5	698
108	1535	49	56⁶	169,4	693
106	1524	49	56⁹	168,1	688
104	1513	49	56¹¹	167,1	683
102	1502	49	56¹³	166,0	677
100	1491	49	57¹	165,4	671
98	1480	49	57⁴	164,1	665
96	1468	49	57⁸	162,7	659
94	1456	49	57¹¹	161,2	652
92	1444	49	57¹⁵	159,6	644
90	1431	49	58⁰	157,9	636
88	1419	49	58⁷	156,1	628
86	1406	49	58¹¹	154,2	619
84	1394	49	58¹⁴	152,9	610

Рис. 6. Таблицы стрельбы для 21-см версии «ПП»

$K = 1{,}05$; при $l_д/d > 40$ $K = 1{,}03$. Важно, что эти рекомендации учитывают относительный путь снаряда, т.е. длину нарезки. Автором проведен анализ характеристик ряда артиллерийских систем; усредненные кривые представлены на рис. 7 [14]. Они хорошо согласуются с эмпирическими рекомендациями.

Предложена следующая аппроксимирующая зависимость:

$$K = a_1 \cdot \exp\left[-a_2 (l_д / d)^{a_3}\right].$$

Значения входящих сюда параметров приведены в табл. 2

Теперь производим «выстрел» из 28-см орудия, чтобы определить конечный импульс. При этом исходим из того, что как в этом орудии, так и в «ПП» используется трубчатый порох с идентичными свойствами. Величину $B = 1{,}977$ находим, проводя расчет внутренней баллистики и решая обратную задачу, т.е. подбором по известной дульной скорости снаряда (855 м/с). Коэффициент фиктивности $\phi = 1{,}152$. Далее

$$I_k = \frac{1}{s}\sqrt{B\phi qfo} =$$

$$= \frac{1}{0{,}0635}\sqrt{1{,}977 \cdot 1{,}152 \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6 \cdot 105} =$$

$$= 4{,}424 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с} = 4{,}424 \text{ МПа} \cdot \text{с};$$

$$u_1 = \frac{e_1}{I_k} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4{,}424 \cdot 10^6} = 6{,}782 \cdot 10^{-10} \text{ м}/(\text{Па} \cdot \text{с}).$$

Это значение соответствует относительно медленно горящему пороху, что и требуется для дальнобойного орудия, как отмечалось выше.

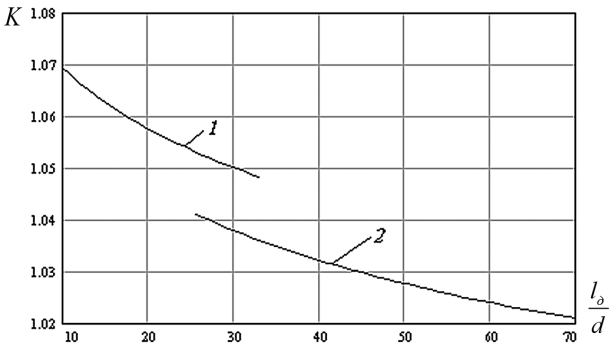


Рис. 7. Зависимость коэффициента K от относительного пути снаряда: 1 — гаубицы; 2 — пушки

Таблица 2

Эмпирические параметры

Система	a_1	a_2	a_3
Пушки	2,42	0,783	0,0229
Гаубицы	1,206	0,0892	0,129

Выстрел на дальность 100 км

На рис. 8 показан процесс сборки ствола «ПП» [5, 6]. Видно, что длина лейнера 21 м, нарезной части 18 м и, соответственно, зарядной каморы — 3 м, т.е. ее объем $W_0 = 0{,}0652 \cdot 3 = 0{,}196$ м^3. Казенник орудия довольно массивный, большого диаметра и дополнительно снабжен противовесом.

Используя «опытное» значение конечного импульса и варьируя плотность заряжания в каморе, определим массу заряда, обеспечивающую снаряду массой 106 кг скорость 1500 м/с. Получаем поразительный результат: указанная скорость достигается при плотности заряжания 616 кг/м^3, т.е. при массе заряда $\omega = 616 \cdot 0{,}196 = 120{,}7$ кг. Это фактически совпадает с тем значением, которое предусматривает Раузенбергер (120 кг). Коэффициент фиктивности $\phi = 1{,}397$, максимальное давление 349 МПа (у Раузенбергера — 360 МПа). Дополнительнst характеристики процесса выстрела: длительность 27,9 мс, горение заряда заканчивается после перемещения снаряда на 7,36 м, т.е. до прохождения его через дульный срез. Иначе говоря, выстрел беспламенный, что способствовало скрытности позиции.

На рис. 9 и 10 представлены графики, характеризующие процесс выстрела из «ПП». Точка излома кривой давления соответствует окончанию горения заряда, после чего происходит адиабатическое расширение образовавшихся пороховых газов.

Проведем оценку давления на дно каморы, для чего воспользуемся известным из внутренней баллистики соотношением между среднебаллистическим давлением и давлением на дно снаряда и дно каморы [15]:

$$\frac{p_{дн}}{p} = \frac{1 + 0{,}48\dfrac{\omega}{q}}{1 + 0{,}324\dfrac{\omega}{q}} = \frac{1 + 0{,}48\dfrac{120}{106}}{1 + 0{,}324\dfrac{120}{106}} = 1{,}129,$$

т.е. $(p_{дн})_{max} = 1{,}129 \cdot 349 = 394$ МПа, что не превышает допустимый уровень.

Различие указанных давлений объясняется тем, что пороховые газы, сообщая снаряду кинетическую энергию, перемещаются вместе с ним. Несгоревшие к данному моменту частицы пороха также могут перемещаться под действием разности давлений в канале ствола. Также возникают волновые процессы: газы, отразившись от дна каморы, встречаются с газами, движущимися навстречу, и дают местный скачок давления [16]. Кроме того, происходит

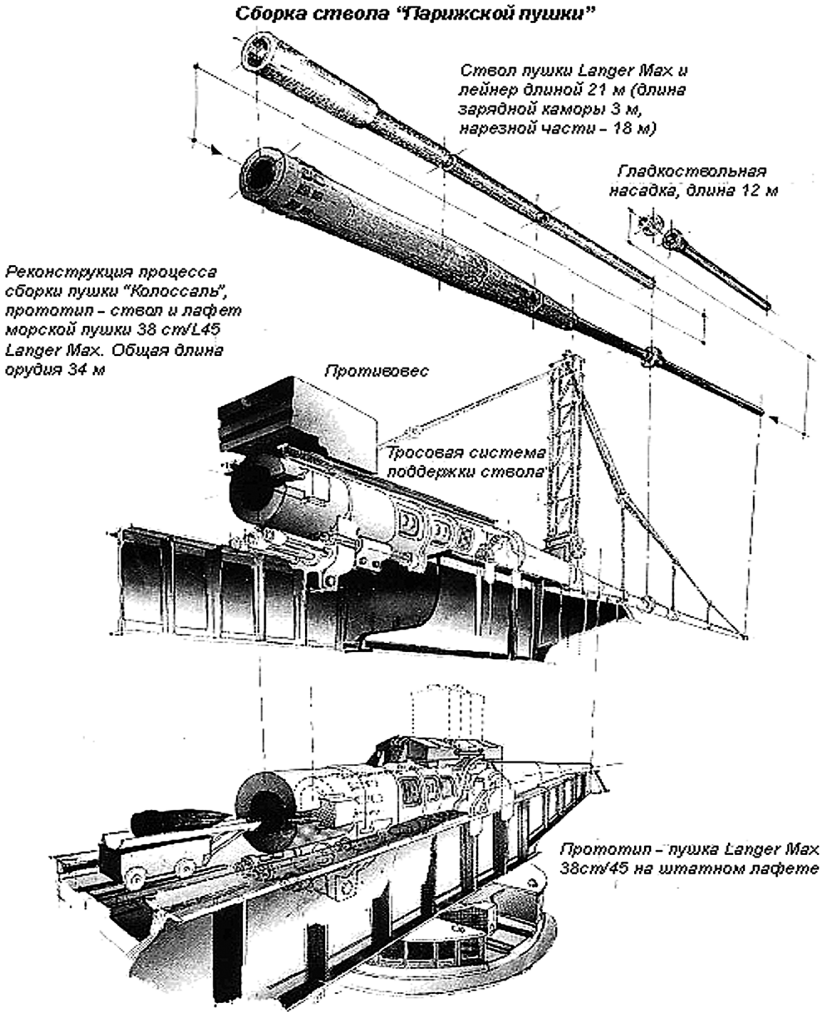


Рис. 8. Сборка ствола и общий вид «ПП»

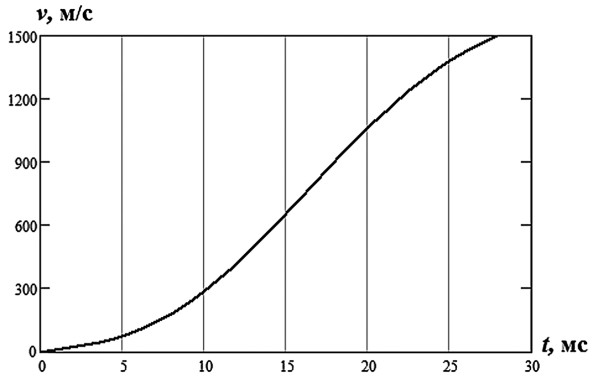


Рис. 9. Давление пороховых газов в канале ствола

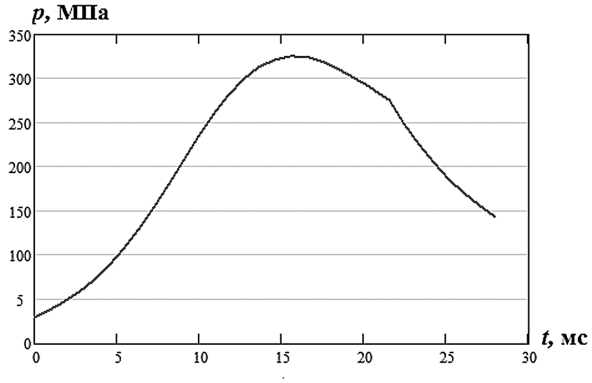


Рис. 10. Скорость снаряда

резкое сужение струи газов, обусловленное скачкообразным перепадом диаметра (от диаметра каморы до калибра) во входной части нарезки. Это, очевидно, порождает локальный скачок давления и температуры, что и является причиной интенсивной эрозии канала ствола и уменьшения его живучести (до 60 выстрелов). При этом также формируется волновой процесс. Таким образом, увеличение диаметра каморы относительно калибра снаряда имеет как положительный аспект (укорочение), так и отрицательный, ускоряя процесс износа ствола. Для сравнения, живучесть ствола 28-см орудия, имеющего традиционную компоновку, составляет 210–260 выстрелов.

Обычная («термодинамическая») методика расчета внутренней баллистики дает приемлемые результаты при $\omega/q < 1$, т.е. для относительно тяжелых снарядов, и при умеренной длине зарядной каморы. При $\omega/q > 1$ (как в случае «ПП») возможны ошибки, минимизируемые при учете волновых процессов. Однако оценить такую ошибку количественно практически невозможно.

Для определения параметров траектории снаряда необходимо знать его коэффициент формы по отношению к закону Сиаччи. Вновь воспользуемся рукописью Раузенбергера, в которой приведены такие сведения: при стрельбе с начальной скоростью 1646 м/с и угле возвышения 50° достигнута дальность 130 км (масса снаряда 106 кг). Как принято во внешней баллистике, интегрируя систему уравнений (1) и решая обратную задачу, подбором находим $i = 0,398$. Это фактически совпадает с тем значением (0,4), которое было принято при предварительной оценке условий стрельбы на дальность 100 км. Баллистический коэффициент — 0,166; основные параметры траектории таковы: вершина — 41,7 км; скорость снаряда в вершине 705 м/с; время полета — 185 с; скорость падения — 737 м/с; угол падения — 55,1°.

На рис. 11–13 показаны графики, характеризующие траекторию. На рис. 12 представлен закон изменения силы сопротивления воздуха (отнесенной к силе тяжести снаряда). Видно, что почти 3/4 дальности снаряд находится практически в безвоздушном пространстве. При входе в более плотные слои атмосферы происходит локальное возрастание скорости с последующим уменьшением.

Для табличных значений дульной скорости (см. рис. 6) получаем практически полное совпадение результатов: 1491 м/с — 99,9 (100) км; 1602 м/с — 120,9 (120) км, что подтверждает адекватность значения коэффициента формы.

Снаряд «ПП» показан на рис. 14 [5]. Коэффициент массы $C_q = q/d^3 = 106/2,1^3 = 11,4$ кг/дм³, это среднее значение для фугасных снарядов. Однако коэффициент $C_\omega = \omega_{рз}/d^3 = 6,85/2,1^3 = 0,740$ кг/дм³, где $\omega_{рз}$ — масса разрывного заряда (указана в таблице стрельбы, см. рис. 6), выходит за пределы рекомендуемого диапазона: (примерно от 2,0 до 3,0 кг/дм³) [11]. Это объясняется несоответствием требованиям, предъявляемым к конструкции обычных фугасных снарядов.

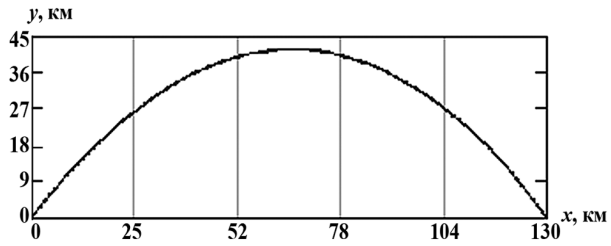


Рис. 11. Траектория

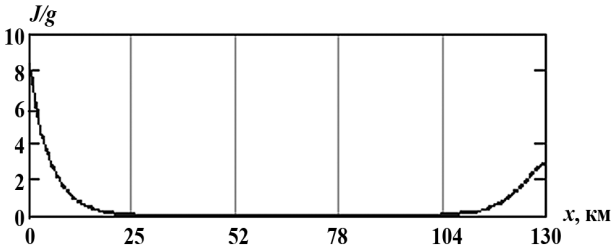


Рис. 12. Сила сопротивления воздуха

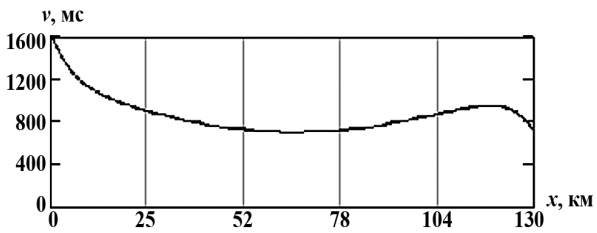


Рис. 13. Скорость снаряда

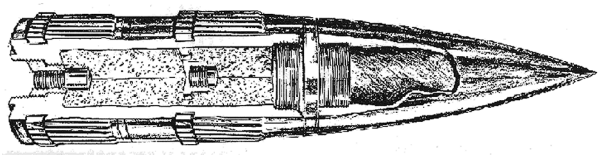


Рис. 14. 21-см снаряд «Парижской пушки»

Дальность стрельбы — 120 км

В разгар работы, когда уже шли полигонные испытания первой версии «ПП», 5 февраля 1917 года, Крупп получает письмо от Людендорфа:

«Учитывая новые обстоятельства, максимальная дальность стрельбы системой 21/35 должна составить 120 км. Предлагаю продолжить работу, исходя из этого требования».

Дробь в тексте письма свидетельствует об осведомленности командования: ему известен калибр пушки (21 см), а знаменатель дроби — калибр второго из орудий-прототипов — 35 cm SK L/45. Новое требование было обусловлено запланированным отступлением под Соммой на линию «Зигфрид», в 110 км от Парижа. Доложив «по-пионерски» Людендорфу о готовности выполнить задание, Раузенбергер так представляет себе решение более сложной задачи.

Чтобы добиться дальности стрельбы несколько больше 120 км при угле возвышения 50° со снарядом массой 106 кг, необходима дульная скорость 1610 м/с. Для этого потребуется заряд из пороха С/12, как в 38-см пушке, при максимальном давлении 4000 ат (400 МПа) и путь снаряда 24 м. Зарядная камора имеет конфигурацию, совместимую с гильзой морского орудия 28 cm L45. 21-см лейнер для пушки 35 cm L45 состоял из трех свинчивающихся частей, поскольку существовавшее заводское оборудование не позволяло изготовить заготовку-моноблок. Кроме того, из-за технологического ограничения длина нарезки канала ствола не могла превышать 18 м. Путь снаряда должен быть не менее 24 м, поэтому было принято решение — удлинить ствол за счет присоединения к нарезной части гладкого насадка длиной, соответственно, не менее 6 м. Его можно было устанавливать непосредственно в полевых условиях, что исключало трудность транспортировки единого ствола. Решение об использовании гладкого насадка имело принципиальное значение, о чем подробно сказано ниже. Чтобы исключить прогиб аномально длинного тонкостенного ствола под действием собственной силы тяжести, установили тросовую натяжную систему для придания прямолинейности стволу (см. рис. 1 и 8).

В контексте постановки задачи большой интерес представляют таблицы стрельбы для 21-см варианта «ПП», рис. 6 [4]. Они довольно информативны.

1. Масса снаряда — от 104 до 106 кг; длина (с обтекателем) 4,5 клб, т.е. 0,945 м; масса разрывного заряда 6,85 кг; два взрывателя: донный (Bdz) и передний (в диафрагме) (Jz).

2. Даны значения начальной скорости в зависимости от опорной дальности стрельбы: 100, 120 и 128 км.

3. В гильзе содержится заряд массой 70 кг из трубчатого пороза С/12.

Если верить источникам, например, [4], давление в канале ствола с высокой точностью определяли с помощью крешерных приборов, чтобы корректировать параметры выстрела для заданной дальности. Однако «крешерное» давление может быть меньше истинного примерно на 8...10 %, поскольку таражные таблицы не учитывают динамику обжатия медных столбиков, т.е. влияние скорости нагружения [17]. Для внесения поправки необходимо было бы фиксировать «крешерное» давление во время опытных стрельб и включать его в таблицы. Заметим, что крешерные приборы могли использовать не для измерения давления, а для констатации его изменения в большую или меньшую сторону в зависимости от обжатия столбика для коррекции массы заряда.

Нам известно, что существовали два проекта пушки — для стрельбы на 100 и 120/128 км. Назовем их для краткости «ПП-1» и «ПП-2». Чтобы добиться увеличения дальности стрельбы, необходимо было каким-то образом изменить характеристики «ПП-1». Раузенбергер достаточно оперативно доложил Людендорфу о готовности выполнить задание, потому что решение о модификации конструкции «ПП-1» уже было принято.

Логика принятия этого решения, на взгляд автора, такова. Для «ПП-1» Раузенбергер предусматривал массу заряда 120 кг. Обоснованность этого значения подтверждена расчетом автора.

Разработчики, учитывая жесткий фактор времени, наверняка стремились к тому, чтобы по возможности сохранить параметры зарядной каморы «ПП-1» (длину 3 м и объем 0,196 м^3). Были возможны два альтернативных варианта действий.

Первый вариант. Плотность заряжания в «ПП-1» 616 кг/м^3, т.е., если иметь в виду ее оптимальное значение (700 кг/м^3), наблюдается некий запас. Остается проверить, можно ли добиться увеличения дальности путем приращения массы заряда. Результаты соответствующего расчета приведены в табл. 3.

Видно, что необходимая дульная скорость обеспечивается, причем запас по плотности заряжания по-прежнему сохраняется. Однако возникает хоть и не чрезмерное, но все же достаточно высокое давление. Это нежелательно, учитывая повышение интенсивности скачка давления на входе нарезной части ствола и формирование волновых процессов.

Второй вариант. Если обратить внимание на кривую скорости снаряда в канале ствола (рис. 10), то нетрудно заметить, что у дульного среза наблюдается довольно высокое ускорение, т.е. имеется явный запас прироста скорости. Следовательно, если увеличить путь снаряда, то при соответствующей его длине можно добиться приращения скорости снаряда до нужного значения. Вследствие увеличения пути снаряда для достижения той же скорости, давление уменьшится, а зарядную камору можно вообще «оставить в покое».

И конструкторы Круппа принимают простейшее, но и наиболее эффективное решение: не изменяя массу заряда и длину каморы, присоединить к лейнеру гладкий насадок. При этом, конечно, придется решить следующие сопутствующие задачи:

1) разработать способ плотного (герметичного) соединения насадка со стволом (лейнером), способного выдержать высокое давление пороховых газов при выстреле;

2) более сложная задача — разработать систему обтюрации пороховых газов в гладком насадке; как известно, было найдено остроумное решение этой задачи на основе использования поворотных поясков [5];

3) выбрать длину насадка, чтобы обеспечить дульную скорость снаряда 1610 м/с (табличное значение 1602 м/с). Раузенбергер фактически устанавливает длину насадка, т.е. не менее 6 м, указывая общую длину лейнера с ним — 24 м.

Чтобы проследить, как изменяется дульная скорость снаряда при увеличении длины его пути за счет насадка, необходимо описать механику движения вращающегося снаряда в гладкостенной трубе. Остается, по существу, лишь одна из второстепенных работ пороховых газов, связанная с затратой части кинетической энергии на преодоление силы трения, которая обусловлена взаимодействием поворотных поясков с внутренней поверхностью насадка. Очевидно, что в конечном итоге речь идет об определении коэффициента фиктивности. Теория внутренней баллистики гладкоствольных систем, прежде всего миномета, в данном случае неприменима. Это самостоятельная задача. Поэтому необходимо принять некоторые допущения:

1) площадь сечения ствола равна средней для нарезной и гладкой частей, т.е. 0,0368 м^2 [15];

2) коэффициент фиктивности переменный и зависит от длины насадка.

Полученные результаты приведены в табл. 4, где $v_д$ — дульная скорость. Вновь поразительный результат: дульные скорости для стрельбы на 100 км («ПП-1», длина нарезки лейнера 18 м) и на 120 км (с насадком длиной 6 м, т.е. при пути снаряда 24 м) в точности совпадают с табличными (см. рис. 6). Максимальное давление 330 МПа, т.е. существенно меньше, чем в первом варианте (у Раузенбергера, напомним, 360 МПа). Коэффициент фиктивности изменяется слабо, среднее значение 1,39.

При длине насадка 12 м, т.е. при пути снаряда 30 м, согласно таблице стрельбы, достигается дульная скорость снаряда 1646 м/с (дальность 128 км), по расчету 1653 м/с.

Характеристики «Парижской пушки» представлены в табл. 5.

Таблица 3

Результаты расчета

ω, кг	$v_д$, м/с	Δ, кг/м^3	p_{max}, МПа
130,5	1602	666	439
134,7	1646	687	484

Таблица 4

Результаты расчета

$l_д$, м	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
$v_д$, м/с	1491	1507	1529	1549	1569	1586	1602

Таблица 5

Характеристики «Парижской пушки»

Калибр	21 (20,9) см
Прототипы	28 cm SK L/45 — диаметр зарядной каморы, баллистическая калибровка 35 cm SK L/45* 38 cm SK L/45 (Langer Max)*
Длина ствола	22 м
Длина лейнера (свободная труба)	21 м
Длина казенной части	1 м
Нарезка	Длина 18 м, нарезка правая, постоянной крутизны 1/35
Зарядная камора	Длина 3 м, объем 0,196 м^3, площадь сечения 0,0652 м^2, диаметр 0,288 м
Масса порохового заряда	120 кг
Тип пороха	Трубчатый С/12, наружный диаметр 20 мм, внутренний 8 мм ($2e_1 = 6$ мм)
Максимальное давление	350 МПа
Гладкий насадок	Длина 6 и 12 м, площадь обтюрации 0,0374 м^2, площадь перекрываемого кольцевого зазора 0,0013 м^2 [15]
Снаряд	Фугасный, с баллистическим обтекателем, масса 106 кг, длина 0,95 м, площадь сечения с учетом готовых выступов 0,0361 м^2, коэффициент формы 0,4, баллистический коэффициент 0,166
Масса боевого заряда	6,85 кг
Взрыватели	Инерционного действия: донный и срединный (в диафрагме)
Угол возвышения	50°
Начальная скорость снаряда	1491 м/с, 1602 м/с (насадок 6 м), 1646 м/с (насадок 12 м)
Дальность стрельбы	100 км, 120 км (насадок 6 м), 128 км (насадок 12 м)
Параметры траектории (120 км)	Вершина 41,7 км, скорость снаряда в вершине 707 м/с, скорость падения 737 м/с, угол падения 55,1°, время полета 185 с

* Вставка лейнера в ствол орудия

Выводы

1. «Парижская пушка» — уникальное по конструкции и самое таинственное орудие в истории артиллерии. Причиной таинственности являлось то, что не были известны геометрические параметры зарядной каморы, что препятствовало математическому моделированию процесса выстрела и реконструкции орудия.

2. Основным источником информации о концепции, предыстории и конструкции «Парижской пушки» является рукопись руководителя проекта, технического директора фирмы Круппа профессора Раузенбергера. Это ценнейший исторический документ, ставший доступным благодаря Джеральду Буллу, известному канадскому конструктору артиллерийских систем, который разыскал рукопись и опубликовал ее в своей книге [5]. Интерес к «ПП» он проявил как к прототипу, в связи с разработкой суперорудия для запуска спутников на околоземную орбиту.

3. Конфигурация «ПП» была такова: в ствол морского орудия-прототипа (35 cm SK L/45 или 38 cm SK L/45) вставляли 21-см лейнер (свободную трубу) длиной 21 м (длина зарядной каморы 3 м плюс нарезная часть длиной 18 м). «Шифром» для разгадки тайны «ПП» послужило то, что по решению Раузенбергера зарядная камора лейнера рассверливалась под 28-см гильзу, что определило ее конфигурацию как цилиндра, имеющего диаметр 0,288 м и объем 0,196 м^3.

4. Поскольку характеристики орудия 28 cm SK L/45 известны, это позволило, решая обратную задачу внутренней баллистики, определить конечный импульс пороха того же типа, что и порох заряда «ПП» (трубчатый С/12).

5. Баллистическая калибровка «ПП» дала возможность, во-первых, подтвердить массу заряда (120 кг), указанную Раузенбергером, и, во-вторых, рассчитать параметры выстрела из «ПП». Расчет подтвердил, что дульная скорость снаряда, необходимая для стрельбы на опорную

дальность (100, 120 и 128 км), обеспечивается. Расчетные параметры траектории снаряда соответствуют таблицам стрельбы.

Следует, однако, оговориться, что в отдельном рассмотрении нуждается вопрос о применении версий «Парижской пушки» с лейнерами, рассверленными под калибры 22,4 и 23,2 см.

Литература

1. Прохоров Б.А. Боеприпасы артиллерии. — М.: Машиностроение. 1973. С. 122.

2. Упорников Н.А. Основные баллистические характеристики снарядов сверхдальнобойной артиллерии // Техника и вооружение. — М.: Воениздат. 1933. № 10. С. 5–10.

3. http://www.navweaps.com

4. Miller Henry W. The Paris Gun. The Bombardment of Paris by the German Long-Range Guns and the Great German Offensives of 1918. Naval & Military Press, 2003, 2006 (репринт издания 1930 г.).

5. Bull Gerald V., Murphy Charles H. Paris Kanonen: The Paris Guns (Wilhelmgeschütze) and Project HARP. — Herford: E.S. Mittler, 1988. 180 p.

6. Ефремов А.К. Сверхдальнобойная пушка «Колоссаль» // Известия РАРАН. Юбилейный выпуск. 2008. № 4 (58). С. 113–127.

7. Ефремов А.К. Реконструкция проектирования «Парижской пушки» // Известия РАРАН. 2010. № 3 (65). С. 105–116.

8. Костылев П.М. Сверхдальнобойная артиллерия в 1914–1918 гг. и в настоящее время // Морской сборник. 1941. № 4. С. 22–34.

9. Баллистика ствольных систем / РАРАН. В.В. Бурлов, В.В. Грабин, А.Ю. Козлов и др.; под ред. Л.Н. Лысенко и А.М. Липанова. — М.: Машиностроение, 2006. 461 с.

10. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. Учеб. для вузов. 4-е изд. — М.: Машиностроение, 2005. 608 с.

11. Третьяков Г.М. Боеприпасы артиллерии. М.: Воениздат, 1947. 536 с.

12. Физические основы устройства и функционирования стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия: учеб. для студентов вузов. Ч. 1. — Волгоград: ВолгГТУ, 2002. 560 с.

13. https://wiki.wargaming.ne/Navy

14. Автономные информационные и управляющие системы. В 4 т. / Под ред. А.Б. Борзова. Т. 4 / А.К. Ефремов. — М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО НИЦ «Онико-М», 2011. 332 с.

15. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. Изд. 3-е. — М.: Оборонгиз, 1962. 705 с.

16. Газодинамические основы внутренней баллистики / С.А. Бетехтин, А.М. Винницкий, М.С. Горохов и др. Под ред. К.П. Станюковича. — М.: Оборонгиз, 1957. 384 с.

17. Ефремов А.К. Динамическая ошибка крешерного прибора // Боеприпасы. 1994. № 3/4. С. 16–21.