

М.Е. Серебряков

**Физический закон горения во
внутренней баллистике**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 355/359
ББК 68
М11

М11 **М.Е. Серебряков**
Физический закон горения во внутренней баллистике / М.Е. Серебряков – М.:
Книга по Требованию, 2014. – 216 с.

ISBN 978-5-458-61212-8

ISBN 978-5-458-61212-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа, являясь продолжением работ автора по изучению физического закона горения исключительно в пиростатике, дополняет и развивает данные, изложенные в других, более поздних его работах, относящихся по преимуществу к пиродинамике.

Данная работа подводит основные, далеко не полные, итоги исследований автора, проводимых им в этой области с 1923 г., исследований, объединенных единой общей идеей — *связать результаты лабораторных исследований порохов с применением их в орудиях*, чтобы можно было, испытав опытные образцы порохов в бомбе, сказать, каковы будут результаты стрельбы этим порохом при данных условиях заряжания, а также каковы должны быть толщина нового пороха и его заряд при стрельбе из данного орудия.

Решение этой задачи имеет большое значение для работников пороховых заводов и даст значительный экономический эффект, так как позволит заменить часть стрельб испытанием небольших количеств пороха в бомбе.

Для осуществления этой задачи надо было:

1) изучить действительный закон горения пороха по внешнему проявлению его в виде кривой нарастания давления при сжигании пороха в манометрической бомбе;

2) дать методику обработки этих опытных данных;

3) дать метод анализа получаемых результатов;

4) по этим данным установить действительную картину горения пороха, установить закон скоростей горения;

5) связать полученные результаты с процессами фабрикации и связать изменение этих процессов с изменением баллистических свойств пороха;

6) разработать переход от полученных при испытании в бомбе данных к расчету действия данного пороха в орудии, т. е. решить основную задачу внутренней баллистики на основе физического закона горения;

7) обобщить разработанный способ для геометрического закона горения и, сопоставив его с другими общепринятыми методами, основанными на геометрическом законе горения, выяснить степень даваемой им точности;

8) сопоставить результаты расчетов с результатами стрельбы из орудий с боковыми крестерами, показать, что и в орудии имеют место те отклонения от геометрического закона горения, которые наблюдаются в бомбе.

В результате этих исследований подтвердилась надежность показаний, даваемых манометрической бомбой. Поскольку опыты в бомбе позволяют обнаружить влияние процессов фабрикации на характер горения пороха, то тем самым устанавливается более тесная связь внутренней баллистики с технологией пороха, чем это было до исследований автора. Таким образом внутренняя баллистика в числе других применений получает новое — быть связующим звеном между технологией пороха и его применением при стрельбе.

Для решения поставленной задачи автор свои исследования и опыты сопоставил с рядом опытов и стрельб, проведенных другими исследователями, используя для этого, кроме литературных данных, кроме мнений и замечаний товарищей по работе, также материал, полученный во время участия в различных совещаниях в ряде учреждений, а также материал научно-исследовательских и дипломных работ, проводившихся под руководством автора.

В начале своих работ (1924 — 1925 гг.) автор встретил весьма скептическое отношение к некоторым получавшимся результатам ввиду их парадоксальности. Продолжая свои исследования, автор с удовлетворением отмечает, что предлагаемая им методика находит все более широкое распространение

среди учреждений, занимающихся исследованием и производством порохов и вопросами внутренней баллистики, а наблюдавшиеся им факты подтверждаются и дополняются другими исследователями.

Так, разработанный автором конический крешер, наиболее чувствительный к малым давлениям и дающий возможность регистрировать давление с $5-7 \text{ кг/см}^2$, при работах в лабораториях, а также в ряде специальных случаев почти совершенно вытеснил крешер цилиндрический.

Предложенные автором опытные характеристики прогрессивности горения пороха Γ , ψ и $\int p dt$, ψ вследствие своей наглядности прочно вошли в обиход лабораторий и учреждений, занимающихся исследованием порохов и внутренней баллистикой.

Физический закон горения находит подтверждение в целом ряде фактов и позволяет учесть и объяснить влияние элементов, не принимавшихся в расчет и не учитываемых при геометрическом законе горения.

Наиболее широко применяется физический закон горения в вопросах, связанных с технологией порохов.

Так, например, при помощи упомянутой выше характеристики Γ , ψ легко определить влияние различных процессов фабрикации на характер горения пороха, как-то: влияние флегматизации, причем по кривой Γ , ψ можно определить глубину проникновения флегматизатора, влияние режима вымочки, сушки, перераспределения нитроглицерина в слоях и пр.

Анализ всякого нового образца пороха не мыслится теперь без испытания его в бомбе и без определения характеристик Γ , ψ и $\int p dt$, ψ , по которым можно рассчитать толщину пороха и вес заряда для данного орудия.

Ряд выводов автора, сделанных еще в первой диссертации на основе опытов в бомбе, за последние годы нашли подтверждение в опытах стрельбы из орудий.

Так опыты инж. Шеклеина с воспламенителями в орудии показали на мгновенность воспламенения и на определенную зависимость результатов стрельбы от величины и природы воспламенителя. Опыты инж. Лопука показывают на неодновременность воспламенения даже трубчатых порохов; специальные стрельбы показали несостоятельность геометрического закона горения для порохов с узкими каналами и подтвердили правильность физического закона горения.

Смещение максимума давления в орудии к началу движения (опыты В. М. Трофимова, 1925 г.) и более крутой, чем это следует по геометрическому закону горения, подъем кривых скоростей v , l в опытах проф. Н. А. Забудского (1914 г.), также подтверждают правильность физического закона горения.

Для перехода от данных бомбы к орудию автор еще в 1925 г. разработал метод¹ решения основной задачи баллистики на основе физического закона горения. В дальнейшем² (1932 г.) этот способ был переработан и применен к расчету действия пороха в ряде орудий, причем, давая хорошие результаты для величины начальной скорости v_d , он давал p_m , повышенные на 10—12%.

Анализируя причины такого расхождения вычисленных давлений с опытными и произведя ряд новых исследований, автор в 1935 г. вновь переработал свой метод, уточнив некоторые допущения, а также обобщил его и для случая геометрического закона горения. Это дало возможность сравнить этот метод с другими методами при тех же константах. Сравнение показало, что, несмотря на приближенное решение, результаты расчетов получаются близкими к результатам, получаемым численным интегрированием разложением в ряд Тэйлора.

Вместе с разработкой метода решения основной задачи баллистики автор поставил себе задачу все многочисленные константы, входящие в ос-

¹ Доложен на совещании в АУ в апреле 1926 г.

² М. Е. Серебряков, Решение основной задачи внутренней баллистики на основе физического закона горения. Известия Артиллерийской академии, т. X, 1934.

новное уравнение, брать по возможности или из опыта в бомбе, или а priori, обосновав их значения на основе физико-химических данных. Именно таким образом были определены величина показателя $\theta = \frac{c_p}{c_w} - 1$ и его изменение

с температурой на основе газового анализа¹. Кроме того, на основе опытов Мюраура (Muraud) была учтена поправка на теплоотдачу стенкам во время горения пороха в бомбе и разработана методика для учета ее при выстреле из орудия. Это позволило ввести поправку в определение силы пороха f (см. главы приложения I настоящей работы).

При переработке своего способа автору удалось вывести аналитическое выражение для вспомогательной функции L , прежде определявшейся только обработкой опытов в бомбе; вместе с этим удалось установить физический смысл этой функции и дать наглядную характеристику метода автора в целом. Эта же функция L , как оказалось, находит применение при опытах в бомбе со свободным поршнем, что позволило теоретически решить некоторые практические задачи при работе с такими бомбами.

В процессе своих исследований для объяснения причин отклонения порохов от геометрического закона горения автор выдвинул и разработал теорию неравномерного горения пороха как вследствие неоднородности пороха от слоя к слою, так и вследствие неоднородности условий в отношении свободы отделения газов, в которых находятся различные элементы горячей поверхности порохов с каналами.

Разработка этой теории позволила дать новые основы для проектирования действительно прогрессивно горящего порохового зерна.

Проведя опыты со многими сотнями образцов самых разнообразных порохов, автор считал возможным приступить к обобщению всего этого опытного материала.

Все указанное выше более или менее подробно приведено в самой работе, которая, несмотря на свой большой объем, не вместила всего материала, имеющегося в распоряжении автора и обработанного пока лишь вчерне. Через некоторый промежуток времени автор надеется вернуться и к этому не затронутому здесь материалу.

Своими предшественниками автор считает французского баллистика Шарбонье (Charbonnier) (1908 г.), сделавшего первый шаг по установлению опытной зависимости характера горения пороха от процессов фабрикации пороха, и немецкого инженера Шмица (Schmitz) (1913 г.), давшего методику перехода от опытов в бомбе к орудию на основе интегральных диаграмм, получаемых из опыта. Некоторая аналогия в методике обработки опытных данных в бомбе встречается в работах Мюраура (1926—1933 гг.) и кое-что сходное имеется у Сюго (Sugot).

После сдачи работы в печать автор ознакомился со статьей Dupuis, помещенной в *Mémorial de l'artillerie française* в 1938 г., т. 4, в которой экспериментальный закон горения и изменения поверхности S выражается так же, как и в опытах автора.

¹ М. Е. Серебряков, Определение показателя θ на основе физико-химических данных, „Известия Артиллерийской академии“, т. XIX, 1936.

ГЛАВА I

ФИЗИЧЕСКИЙ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ) ЗАКОН ГОРЕНИЯ В ПИРОСТАТИКЕ

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Физическим, или экспериментальным, законом горения у нас принято называть закон горения пороха, определяемый анализом кривой нарастания давления, получаемой на опыте при сжигании пороха в манометрической бомбе.

Впервые это название было установлено Шарбонье для введенной им „функции формы“ пороха (1908 г.). Поскольку введенная автором опытная характеристика прогрессивности горения $\Gamma = \frac{1}{p} \frac{d\psi}{dt}$ по сути дела является той же „функцией формы“, то название, данное Шарбонье, было сохранено.

При проведении опытов в бомбе давление определялось коническими крешерами, таражные таблицы для которых составлялись статически обжатием крешеров на прессах Гагарина или Барановского, при стрельбе из орудий — цилиндрическими крешерами, предварительно обжимаемыми также статически на прессе Барановского.

Балистические характеристики пороха — сила f и коволюм α — определялись по формуле Нобля с учетом увеличения объема бомбы от смещения поршня при сжатии крешера и с учетом влияния воспламенителя¹. Для определения приведенной быстроты газообразования

$$\Gamma = \frac{1}{p} \frac{d\psi}{dt},$$

являющейся опытной характеристикой прогрессивности горения пороха, переход от величины давления p к сгоревшей части заряда ψ производился, как обычно, по общей формуле пиростатики с учетом влияния воспламенителя; небольшое изменение давления воспламенителя за время сгорания пороха не учитывалось.

Основные положения физического закона горения при применении его в пиростатике, ряд опытов и методика их обработки изложены в учебнике автора „Внутренняя балистика“, изданном

¹ См. М. Е. Серебряков, Описание основных балистических приборов 1937, стр. 29; Издание Артиллерийской академии.

в 1933 г., а также в стабильном учебнике того же названия (1939 г.). Поскольку предложенная автором методика обработки опытов в манометрической бомбе принята рядом учреждений, работающих в области внутренней баллистики и технологии порохов, и, следовательно, достаточно известна, то из материалов, помещенных в упомянутых выше работах, автор здесь приводит лишь самое основное, необходимое для более ясного освещения излагаемого вопроса.

А. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ЗАКОН ГОРЕНИЯ ПОРОХОВ

Внутренняя баллистика, ввиду сложности явления выстрела, в своих выводах основывается на целом ряде допущений. К числу основных допущений относится так называемый геометрический закон горения, установленный Вьелем в 90-х годах прошлого века и принимаемый до сих пор большинством баллистиков.

Этот закон горения сводится к трем основным положениям:

1. В замкнутом объеме воспламенение пороха происходит мгновенно.

2. Горение пороха, т. е. распространение реакции горения в глубь зерна, происходит параллельными слоями с одинаковой скоростью со всех сторон.

3. Зерна пороха однородны по массе и по размерам.

В основе этих положений лежат допущения, что порох представляет собой идеально однородное геометрически правильное тело, что под действием газов воспламенителя загорается одновременно вся поверхность пороха, а затем уже идет процесс горения в глубь зерна, и что на всех горящих поверхностях пороха давление в каждый данный момент одно и то же.

Эти допущения, схематизируя чрезвычайно сложный процесс горения пороха, дают возможность сравнительно просто выразить его математически на основе чисто геометрических соображений.

Если обозначить:

сгоревшую к данному моменту часть зерна $\frac{\Lambda_{cr}}{\Lambda_1}$ через ψ ,

относительную поверхность $\frac{S}{S_1}$ через σ ,

относительную толщину пороха $\frac{e}{e_1}$ через z ,

то на основе геометрического закона горения получим известные формулы:

$$\psi = xz(1 + \lambda z + \mu z^2),$$

$$\sigma = 1 + 2\lambda z + 3\mu z^2,$$

$$\frac{S_1}{\Lambda_1} = \frac{x}{e_1}, \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \sigma u,$$

которые позволяют, задавшись величиной z , подсчитать значения ψ , σ и $\frac{S_1}{\Lambda_1}$ — начальную оголенность зерна, так как постоянные

κ , λ и μ — характеристики формы зерна — можно вычислить для каждой формы зерна, зная соотношение размеров.

В некоторых случаях приведенные формулы можно упростить, взяв двучленные выражения:

$$\psi = \kappa_1 z (1 + \lambda_1 z)$$

и

$$\sigma = 1 + 2\lambda_1 z.$$

Вместе с общей формулой пиростатики

$$p_\psi = \frac{f \Delta \psi}{1 - \frac{\Delta}{\delta} - \Delta \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \psi} + p_s.$$

и законом скорости горения, принимаемым большинством исследователей,

$$u = u_1 p,$$

эти формулы позволяют определить характер нарастания давления и его величину в функции от времени при сгорании пороха в постоянном объеме.

Точно так же эти формулы, наряду с другими допущениями, позволяют решить основную задачу пиродинамики, т. е. рассчитать характер нарастания давления пороховых газов и скорости снаряда при горении пороха в канале орудия (в переменном объеме).

Геометрический закон горения был выведен Вьелем на основе изучения горения порохов с простой формой зерен (без узких каналов), применявшихся в то время, и на основе техники наблюдения того времени, позволявшей регистрировать процесс нарастания давления газов в манометрической бомбе при помощи цилиндрических крещеров лишь с давления 200—400 кг/см².

Сводя представления о процессе горения пороха к простым геометрическим изменениям первоначальной формы порохового зерна, легко выражаемым математическими формулами, геометрический закон горения давал лишь первое схематическое приближение к действительному закону горения. Тем не менее, вследствие относительной простоты аналитического решения основной задачи пиродинамики на основе геометрического закона горения и удобства решения ряда побочных задач при проектировании, геометрический закон горения с хорошими результатами для порохов с простой формой зерна применяется до настоящего времени большинством авторов.

Так, у нас прекрасные результаты для ленточного пороха, при некоторых определенных константах, дает способ решения, предложенный проф. Н. Ф. Дроздовым (1910 г.), а составленные им же первоначально краткие, а затем более подробные таблицы

находят широкое применение в практике конструкторских бюро и других учреждений, занимающихся вопросами внутренней баллистики.

В основу „универсальных“ таблиц, составленных в АНИИ, также положен метод проф. Дроздова. Но и в том и в другом случаях для получения расчетом p_m и v_d , близких к опытным данным, приходится силу пороха f брать значительно большей, чем определяемая из опытов в бомбе, а именно $f = 950\,000$, вместо $850\,000 - 900\,000 \frac{\text{кг-дм}}{\text{кг}}$.

Принятый до недавнего времени у нас в Академии метод Бианки, видоизмененный проф. И. П. Граве, основывается тоже на геометрическом законе горения; В. Е. Слухоцкий в своих исследованиях, а также Г. В. Оппоков при численном интегрировании также принимают за основу геометрический закон горения. Этот метод принят и большинством иностранных авторов.

Но то, что геометрический закон горения „всеми (или большинством) принят“, вовсе не значит, что он является верным на самом деле и отражает истинную картину действительного закона горения.

Обычно критерием правильности того или другого способа является совпадение вычисленных значений p_m и v_d с опытными, получаемыми при стрельбе. Но в основное уравнение пиродинамики, которое лишь приближенно учитывает действительную связь между элементами во время выстрела, входит очень много постоянных, значения которых известны с малой степенью точности, и потому всегда возможно, меняя те или другие константы, получить результаты расчетов, близкие к опытным данным.

Однако за последние годы с развитием техники лабораторных испытаний и усовершенствованием методики обработки получаемых данных накопился ряд фактов, показывающих, что действительное горение пороха, даже порохов с простой формой зерна, не укладывается в рамки геометрического закона горения, который является лишь первым схематическим приближением. Действительный процесс горения в силу ряда условий оказывается гораздо более сложным, чем это следует по геометрическому закону горения. Неучет этого привел в некоторых случаях к резкому противоречию между прежней теорией и практикой. Так, пороха с узкими каналами, от которых на основе геометрического закона горения ожидали прекрасных результатов, на практике их не дали.

Обзор литературы

Работы Шарбонье

Первое сомнение в справедливости геометрического закона горения и первая попытка отойти от представлений геометрического закона горения и рассматривать реальные пороха со всеми

их недостатками, возникающими в процессе фабрикации, принадлежат французскому исследователю Шарбонье¹.

Применяя для наблюдения тот же несовершенный цилиндрический крешер и анализируя вид кривых нарастания давления, получаемых в манометрической бомбе, Шарбонье, исходя из простейших геометрических представлений, ввел специальную „функцию формы“ общего вида, причем показатель этой функции определялся не формой зерна, а на основе опыта в бомбе.

Таким путем устанавливалась связь между теоретической формулой общего вида и опытом.

В настоящее время мы располагаем более полными методами определения всей кривой нарастания давления в целом (конический крешер, упругий брусок) и разработанными новыми методами анализа получаемых в бомбе кривых и можем только поражаться тому, как верно Шарбонье предугадал и сделал заключения о влиянии процесса воспламенения на дальнейший характер горения пороха и на вид получаемой при опытах в бомбе кривой.

Исходя сначала из чисто геометрических соображений, Шарбонье находит зависимость между величиной относительной поверхности в данный момент $\frac{S}{S_1}$ и величиной сгоревшей части заряда ψ для простейших форм порохов—шара, горящего параллельными слоями к центру, сплошного цилиндра и бесконечной ленты (порох с постоянной поверхностью горения), и получает:

$$\text{для шара} \quad \frac{S}{S_1} = (1 - \psi)^{2/3};$$

для цилиндра

$$\frac{S}{S_1} = (1 - \psi)^{1/2};$$

$$\text{для } \frac{S}{S_1} = \text{const} = 1$$

$$\frac{S}{S_1} = (1 - \psi)^0.$$

Таким образом для типичных форм дегрессивных порохов величина $\frac{S}{S_1}$ выражается функцией общего вида:

$$\frac{S}{S_1} = (1 - \psi)^\beta,$$

где $\beta = 2/3$ для шара, $1/2$ — для цилиндра, 0 — для пороха с постоянной поверхностью горения.

Обобщая, Шарбонье говорит, что эту же формулу общего вида можно применить для любого пороха дегрессивной формы, выбрав лишь показатель β . Аналитическое выражение, связывающее между собой относительную поверхность $\frac{S}{S_1}$ и сгоревшую часть заряда ψ , Шарбонье назвал „функцией формы“.

¹ Charbonnier, *Balistique interieure*, 1908.

Для того чтобы эта функция формы не имела чисто геометрического характера, а отражала действительный характер горения пороха со всеми недочетами фабрикации и неодновременностью воспламенения, Шарбонье дал формулу, позволяющую показатель β определять из опыта в бомбе:

$$\beta = \frac{p_m - p_i}{p_i},$$

где p_m — наибольшее давление при опыте,
 p_i — давление в точке перегиба на кривой давления, отвечающее наибольшей скорости нарастания давления $\left(\frac{dp}{dt}\right)_m$.

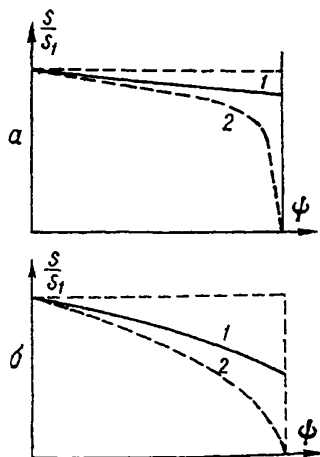
Чем однороднее горит ленточный порох, тем выше точка перегиба, тем меньше β , тем ближе порох к пороху с постоянной поверхностью горения ($\beta = 0$); чем разнороднее по толщине и чем дегрессивнее порох, тем раньше получается p_i и тем больше β .

На основании целого ряда исследований французских порохов Шарбонье нашел, что для ленточных пушечных порохов ВМ величина $\beta = 0,2$, а для винтовочных ВФ (квадратная тонкая пластинка) $\beta = 0,5$, т. е. мелкокрошенная квадратная пластинка фактически горит так, как теоретически должен был бы гореть заряд из сплошных цилиндров, т. е. более дегрессивно.

Если построить для сравнения кривые $\frac{S}{S_1}$, ψ для ленты и пластинки, с одной стороны, на основе формул геометрического закона, а с другой, — по формуле Шарбонье $\frac{S}{S_1} = (1 - \psi)^\beta$ при $\beta = 0,2$ и $\beta = 0,5$, то получим диаграммы, изображенные на фиг. 1.

И для ленты и для пластинки кривые изменения $\frac{S}{S_1}$ в функции от ψ по Шарбонье (кривые 2) лежат ниже, чем соответствующие кривые 1 при геометрическом законе горения. Кроме того, ординаты кривых σ по Шарбонье при $\psi = 1$ стремятся к нулю, тогда как у первых кривых в конце горения ординаты имеют значительную величину (0,90 — 0,50).

Таким образом, кривые $\frac{S}{S_1}$, ψ , по Шарбонье, показывают, что порох вследствие неодновременности воспламенения, неоднородности массы, являющейся следствием фабрикации и ряда других



Фиг. 1. „Функция формы“ Шарбонье:

а — для ленты, б — для квадратной пластинки.

причин, горит более дегрессивно, чем это следует на основании геометрического закона горения.

Положение точки перегиба зависит от всех упомянутых выше факторов, и поэтому показатель β , определенный из опыта, позволяет дать более правильную характеристику действительного закона горения пороха.

Но и функция формы, предложенная Шарбонье, имеющая полутеоретический, полуэмпирический характер, не дает полной характеристики горения пороха, так как из всей кривой нарастания давления для вычисления показателя β берутся только две величины давления: p_m и давление p_i , близкое к концу горения; полная же кривая нарастания давления от начала до конца не используется.

Тем не менее получаемые нами теперь в результате обработки всей кривой p, t кривые опытной прогрессивности горения Γ, ψ для ленточных порохов после $\psi = 0,3-0,4$ очень похожи на кривые $\frac{S}{S_1}$ Шарбонье при $\beta = 0,2$. Начальные же участки этих кривых, как это удалось нам обнаружить при помощи конических крешеров, значительно отличаются от кривых Шарбонье, так как на них можно проследить и постепенное воспламенение пороха и ускорение горения наружных слоев, являющееся следствием процессов фабрикации. Шарбонье не мог этого обнаружить на опыте, имея в распоряжении лишь малочувствительный цилиндрический крешер.

Во всяком случае, заслуга Шарбонье в том, что он первый ввел оценку прогрессивности горения пороха по опытам в бомбе, а не только по форме зерна, справедливо заключив, что прогрессивность формы одного зерна (геометрическая) не определяет еще прогрессивности горения — процесса, зависящего не только от геометрии зерна, но и от его физико-химических свойств и от условий заряжания и воспламенения.

Формулу для быстроты газообразования Шарбонье представил сначала в общем виде ¹:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} u_1 \frac{S}{S_1} p^\nu = \frac{S_1}{\Lambda_1} u_1 (1 - \psi)^\beta p^\nu,$$

но затем нашел, что для французских порохов можно принять $\nu = 1$. Тогда

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} u_1 \frac{S}{S_1} p = A \frac{S}{S_1} p,$$

т. е. формула имеет такой вид, в котором она применяется и теперь.

Величину $\frac{S_1}{\Lambda_1} u_1 = A$ Шарбонье называет „vivacité“ — живостью пороха; по сути дела это есть удельная начальная газообразующая способность пороха при давлении $p = 1$.

¹ Даем ее в принятых у нас обозначениях.