

Семенов Н.Н.

Горение и взрыв

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62
ББК 30.6
С30

С30 **Семенов Н.Н.**
Горение и взрыв / Семенов Н.Н. – М.: Книга по Требованию, 2026. – 36 с.

ISBN 978-5-8854-2827-9

Классическая научно-популярная и одновременно строго научная книга о том, как и почему возникают реакции горения, чем они отличаются от взрыва, какие механизмы превращают “медленное” окисление в лавинообразный процесс, и как человек учится управлять этой границей.

Автор — один из ключевых создателей теории цепных реакций — объясняет природу пламени, воспламенения, детонации, устойчивости/неустойчивости процессов, а также практические последствия для техники, промышленной безопасности и энергетики. Издание 1945 года читается как документ эпохи: фундаментальная физхимия, поданная ясным языком и с инженерной прямоотой, когда цена ошибки измерялась не абзацами в отчёте, а реальными катастрофами.

ISBN 978-5-8854-2827-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2026

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2026

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 первоизданном 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.

1. ЭНЕРГИЯ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ¹

В виде вступления мне хотелось бы прочесть страничку из моей популярной статьи «Химическая кинетика и теория горения», вышедшей несколько лет тому назад. Я писал тогда:

«Огонь и электричество — вот два основных рычага, двигающих технику человечества. Огонь едва ли не первое техническое достижение еще первобытного человека. Открытие огня и способов его получения, сделанное людьми на заре их существования и запечатленное в древних мифах, является одним из самых первоначальных и, во всяком случае, величайших сдвигов в истории человечества. ПрIMITивный жизненный опыт, скорее звериное чутье, чем разумная мысль, привел, вероятно, человека к способам получения и первоначального использования огня. В руках первобытных людей эта великая сила стала источником их культурного подъема, побуждая их к исканию новых средств, совершенствующих жизнь. Применяя огонь, они научились плавить и ковать металлы, обжигать глину и делать многое другое. Огонь дал толчок первоначальному рациональному техническому мышлению человека. Он является, таким образом, одним из первоисточников рождения научной мысли. От этих доисторических времен и до наших дней огонь был и остается в руках человека величайшей созидательной и разрушительной силой. Исполни-

¹ Лекции, прочитанные учащимися VII, IX и X классов школ г. Москвы.

вание силы огня является центральной линией технического прогресса человечества.

Электричество — одно из последних достижений современного человеческого общества. Оно было открыто в лаборатории путем глубокого научного анализа явлений природы. Электричество — продукт рационального творчества человека, яркое выражение научной мощи его разума. Открытие огня и электричества — как бы два этапа культурного развития человечества, отделенные друг от друга многими тысячелетиями.

И вот, как ни странно, молодое электричество мы знаем гораздо лучше, чем древний огонь. Наука об электричестве стоит на огромной высоте. В области электротехники или радиотехники почти нет явлений, которых мы не могли бы объяснить, которых мы не могли бы предвычислить.

В науке об огне мы нередко становимся тупее перед самыми простыми явлениями. Рациональная конструкция двигателя внутреннего сгорания и даже топки котла встречает больше затруднений, чем конструкция самой сложной диагональной или радиоприемника. И по сей день в вопросах, связанных с огнем, мы очень часто должны, уходясь к книге первобытных предков, использовать в большой степени примитивный опыт в чужие, немелкие рациональные научные явления предмета.

А ведь вопросы горения являются весьма важными в жизни человечества. Вряд ли можно назвать другую химическую реакцию, которая применялась бы так широко, как реакция горения. Не считая энергии гидроэлектростанций (использующих силу падения воды), основное количество электроэнергии, вырабатываемой ныне на земном шаре, получается в результате сжигания того или иного топлива, то есть в результате реакции горения. А во время войны эта реакция горения в огромных масштабах используется самой разнообразной военной техникой. Современную войну мы называем войной моторов. Танки и самолеты в значительных количествах потребляют жидкое топливо — бензин и нефть. Война характерна также огромным расходом пороха и других взрывчатых веществ. По опубликованным в печати данным, наши союзники тратили за один месяц на одни бомбардировки около 60 тысяч тонн взрывчатых веществ (100 тысяч тонн бомб) и примерно вдвое больше бензина для их транспортировки. Эти цифры дают представление о том, какие огромные массы сгорают, из

велика роль реакции горения. Перед нами, естественно, возникает вопрос: откуда же берется вообще та сила, которая сосредоточена в горючих веществах, сила, которая движет мощные турбины и другие машины, сила, которая позволяет взрывать и уничтожать кажушиеся неприступными крепости и укрепления?

Эта сила рождена энергией солнца. Энергия горючего в конечном итоге есть сосредоточенная солнечная энергия.

Вы знаете, что солнечная энергия попадает на землю в значительной концентрации. В ясный солнечный день на каждый квадратный метр земной поверхности попадает столько солнечной энергии, что можно было бы использовать ее для приведения в движение мотора в одну лошадиную силу. Однако современная техника еще не сумела осуществить заманчивую идею использования солнечной энергии прямым путем. Опыты с гелиоустановками не дали еще положительных результатов. А пока что мы пользуемся солнечной энергией косвенным путем — через растительный мир. Вы, вероятно, знаете, как растения усваивают солнечную энергию. Важно отметить, что это происходит с весьма незначительным коэффициентом полезного действия, от 2 до 6 процентов. Лучи солнца вызывают в растениях химическую реакцию, в которой участвуют вода и углекислота, содержащаяся в воздухе. Энергия солнца идет на образование органических веществ растения. В результате процессов, длившихся сотни тысяч лет, растения превращаются в торф, уголь и другие виды топлива. При сжигании топлива вновь превращается в углекислоту и воду, а запасенная в нем солнечная энергия выделяется в виде тепла. Такой же процесс возращения в воздух углекислоты имеет место и при «сгорании» пищи в организме живых существ. Так происходит кругооборот солнечной энергии.

Нет сомнения в том, что в конце концов человеческий ум разрешит задачу прямого использования солнечной энергии. Но до того как наступит эта новая эра, мы вынуждены сжигать горючие вещества. Такое же сжигание, по существу, происходит и при манипулировании с взрывчатыми веществами. Если мы возьмем порошок того же торфа или угля и смешаем с жидким кислородом, то полученная смесь окажется очень мощным взрывчатым веществом, которое находит применение и для мирных целей: при всякого рода взрывных работах в шахтах и т. д. Однако ввиду того, что обращение с жидким кислородом требует особой

обстановки, его обычно приходится химически связывать с топливом. Такое связывание кислорода с топливом имеет место почти во всех взрывчатых веществах.

Таким образом, все взрывчатые вещества так или иначе используют запас солнечной энергии.

II. ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ДЕТОНАЦИИ

Прежде, когда техника не была развита так, как сейчас, от взрывчатых веществ и от горения требовалось не много. Машины были тихоходными, и пушки вполне успешно стреляли с помощью черного пороха. Но в конце прошлого века началось быстрое усовершенствование всякого рода машин и двигателей внутреннего сгорания. Беспредельными темпами вошло в развитие вооружения. Начала возникать все новое и новые виды оружия. Перед наукой и техникой всталая задача создания новых мощных взрывчатых веществ, а для этого надо было научиться точно управлять процессами горения и взрыва.

Ученые многих стран стали разрабатывать теорию горения. Очень интенсивно развивались эти работы у нас в СССР. Наши ученые в этом вопросе в последние годы добились больших успехов, во многом опередив достижения иностранных ученых.

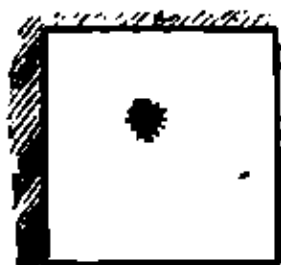
Передо мной стоит довольно трудная задача — познакомить вас с кругом явлений, которые имеют место при взрывах и горении, рассказать о теории этих явлений. Хочется мне также поделиться с вами некоторыми мыслями, которые еще не опубликованы в научных трудах.

Начну с одного наглядного и простого опыта с азидом свинца (соединение свинца с азотом), который очень легко взрывается и который, кстати говоря, широко используется в капсулах снарядов, авиабомб и т. д. Мы кладем его на стеклянную пластинку и с помощью спички поджигаем.

Результаты этого взрыва весьма неглядны: крошечный кусочек азиды свинца проделал в стекле небольшую дырочку. При этом стекло разбито не так, как если бы по нему ударил молотком. В стекле вы видите такую дырочку, как будто в него попала пуля. Это указывает на громадную силу удара, иначе стекло попросту разлетелось бы на осколки.



Мелкий снаряд падает на стальной лист, лист не повреждается.



Орудийный снаряд падает на стальной лист, лист повреждается.

Таким же образом пробивается броня танка, когда в него бросают гранату, разрушаются доты.

Надо сказать, что если бы мы держали этот кусочек азла свинца на некотором расстоянии от стекла, то взрыв не оказал бы такого мощного действия.

В чем тут дело? Вызывает удивление: почему газы, которые выделяются при взрыве азла свинца и которые, казалось, могут совершенно свободно улетать в воздух, давят именно на стеклянную подкладку?

Секрет заключается в гигантских скоростях, сопровождающих процесс взрыва. Эти скорости можно измерить. Делается это с помощью особых шнуров, в сердцевине которых имеется гремучая ртуть. Такой шнур в километр длиной плахи пробежит меньше чем за треть секунды. Скорость эта легко измерится при помощи специальных приборов, дающих показания в мельчайших долях секунды. Таким образом можно измерить скорость процессов взрыва любого вещества. Она может быть различной — от 2 до 9 километров в секунду. Напомню, что скорость звука в воздухе всего 330 метров, а в воде 1400 метров в секунду, аэроплан делает до 200 метров в секунду, а процесс взрыва идет со скоростью до 9 километров! Этот процесс распространяется скорее, чем летит самая быстрая пуля. Кристаллы азла свинца, которым

мы пользовались в нашем опыте, корытится меньше чем в одну миллионную долю секунды.

За это мгновение газы, которые выделяются при взрыве, не успевают даже расшириться. Развивается огромное давление — в несколько сот тысяч атмосфер. Для того чтобы показать грандиозность такого давления, напомним, что в лабораторных условиях, при всем совершенстве современной техники, пока удалось создать давление только в 50 тысяч атмосфер. В артиллерийском оружии, выстрел из которого способен разрушить самые мощные укрепления, давление достигает «всего» 2—4 тысяч атмосфер. В двигателях давление газа в цилиндре еще меньше — всего десятки атмосфер. А в небольшом, размером в спичечную головку, кристаллике азота свинца развивается при взрыве давление в сотни тысяч атмосфер!

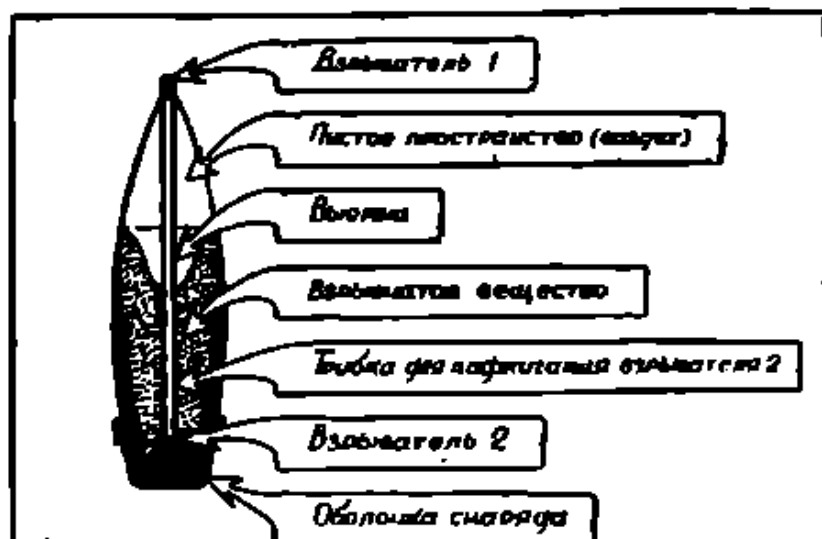
В первый момент взрыва на нашу стеклянную подкладку ничего не давит (вес азота свинца можно не учитывать), а потом на нее обрушивается громадное давление, во много раз превосходящее силу удара молотка. Получается своеобразный удар — удар очень сильный, такого же порядка, как удар пули. Кстати укажу, что давление, развиваемое пулей при ударе о броню, при скорости в 1 километр в секунду также превышает 100 тысяч атмосфер.

Таким образом, как будто нет различия между действием пули и действием описанного взрыва. Поэтому и получается, что стекло при нашем взрыве пробивается так же, как от удара пули. Но некоторая разница все же есть: пулей несравненно выгоднее пробивать броню, чем таким «снарядом», как наш кристаллик азота свинца. Пуля направлена, а газ от азота свинца выходит не только в направлении стеклянной подкладки, но и в другие стороны. Таким образом, только часть силы взрыва направлена в сторону стекла.

Однако эти плотным, как твердое вещество, газам можно дать нужное направление, как в пуле, и направить поток этих газов в сторону брони. В частности, в окончившейся недавно войне эта возможность была широко использована в так называемых кумулятивных снарядах. На московской выставке трофейного оружия, захваченного у немцев, показан ряд таких кумулятивных снарядов, или, в т. д. Принцип их действия известен давно.

Если сделать снаряд такой формы, как показано на рисунке (см. стр. 11), то он произведет гораздо большее

ю

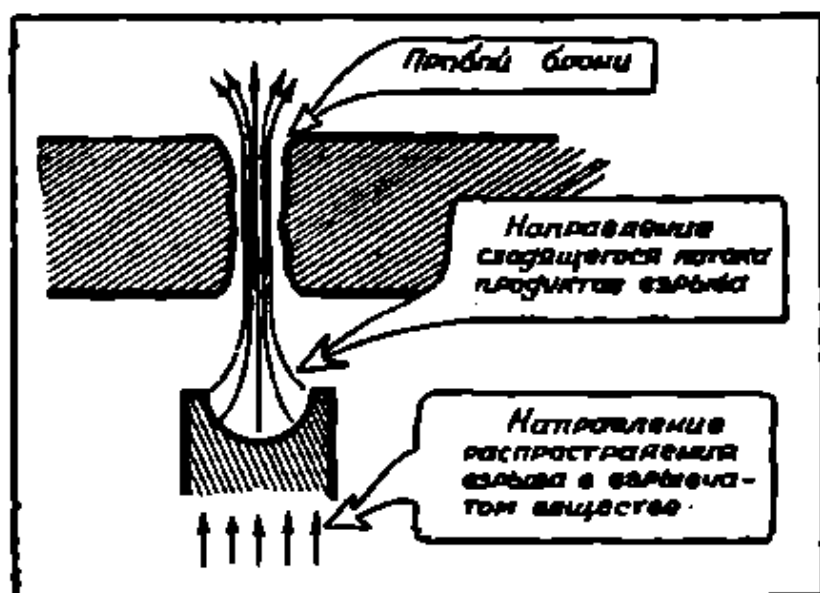


действие, чем такой же снаряд, но без выемки, хотя в первом взрывчатого вещества будет больше.

На рисунке (см. стр. 12) показано, как происходит взрыв в таком снаряде. Газы выходят из снаряда перпендикулярно поверхности взрывчатого вещества, а так как эта поверхность вогнута, то она действует, как зеркало отражателя прожектора: собирает газы в пучок и направляет их в сторону движения снаряда. Такой тонкий, концентрированный луч газов, повидимому сжатый до пределов, близких к плотности стали, режется в броню, как нож в масло, и, во всяком случае, действует не хуже любого бронебойного снаряда. Это обеспечивается огромной скоростью потока плотных газов, достигающей, как предполагается, 10 километров в секунду. Если бы поезд красная стрела двигался с такой скоростью, он бы преодолевал расстояние от Москвы до Ленинграда (около 600 километров) примерно в какую-нибудь минуту.

Следует, впрочем, отметить, что особенно сильное пробивное действие получается в том случае, если поверхность конической выемки выложена металлическим листом небольшой толщины.

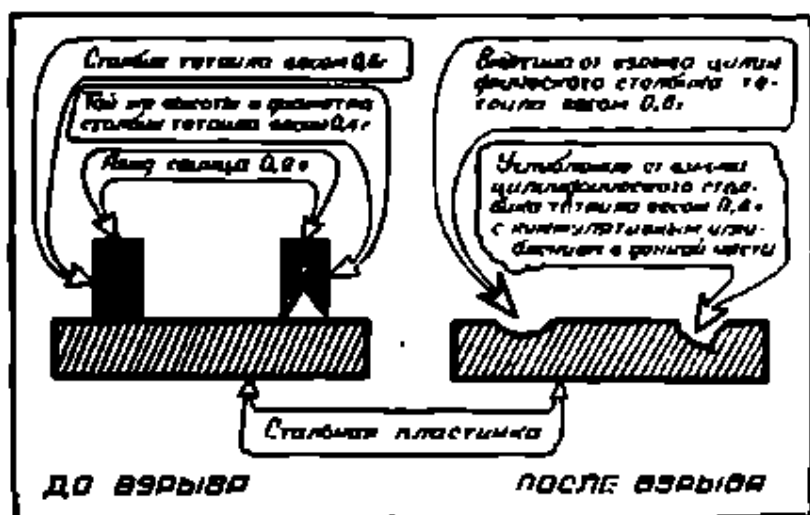
Чтобы показать влияние акумулятивной выемки в снаряде на мощность удара при взрыве, ознакомимся со сле-



дующим опытом. Возьмем два маленьких цилиндрика (высотой в сантиметр каждый) из прессованного тетрила — взрывчатого вещества, употребляемого в качестве промежуточного заряда в снарядах. В одном из цилиндриков, как указано на рисунке, имеется выемка. На каждый из цилиндриков кладется небольшая порция азота свинца. После взрыва на стальной подкладке образуются два углубления; большее оказывается под цилиндриком, в котором мы сделали выемку, хотя в нем и было значительно меньше (на одну треть) взрывчатого вещества (см. рисунок на стр. 13).

Для бризантности, то есть для дробящей способности взрывчатого вещества, весьма важно, чтобы скорость выделения газов при взрыве была максимальной. Порох, в котором включена огромная энергия, на воздухе горит медленно и спокойно, и от этого горения никакого дробящего эффекта не получается. Дело в том, что при взрыве главную роль играет не энергия, а скорость ее выделения. Скорость выделения энергии называют мощностью. Бризантные вещества дают огромную мощность. Если взять килограмм тротила, который имеет энергию порядка тысячи больших калорий, то эта энергия при взрыве выделяется за

стотысячную долю секунды. Подсчеты показывают, что при этом мощность в момент взрыва достигает 100 миллионов больших калорий в секунду, то есть в сотни раз превышает мощность Днепрогэса. Но эта мощность, конечно, длится кратко мгновения. Если бы мы захотели поддерживать такую мощность в течение даже одной секунды, то пришлось бы сжечь около 100 тонн взрывчатых веществ. Одни килограмм дров даст больше энергии, чем такое же количество тротила, но зато тротил развивает такую грандиозную мощность, с которой «мощность» дров, конечно, не сравнима. Если в топку бросить палею, с котлом ничего не случится, а если бы мы попробовали топить печку тротилом, то при детонации он разнес бы не только котел, но и весь дом. В огромной мощности взрывчатых веществ и заключается их разрушительная сила. Когда взрывчатое вещество работает на разрыв гранаты или снаряда, нам важна не столько энергия, сколько мощность. Но во многих случаях решающее значение имеет энергия, а не мощность. В частности это имеет место в артиллерийском оружии, где в камеру сгорания закладывается заряд пороха, с помощью которого снаряд и вылетает. При этом порох должен сгорать примерно за тысячную долю секунды. Давление газов при этом доходит до 3000 атмосфер, а затем по мере движения снаряда в стволе начинает постепенно падать. При



этом пламенная скорость снаряда достигает 800 метров в секунду.

Если бы вместо пороха в этих случаях употребляли бризантное вещество, например тротил, тогда сразу образовалось бы огромное давление, порядка около 10 000 атмосфер, разорвало бы орудие. Совсем другое дело порох: он спокойно продолжает гореть по мере выбрасывания снаряда из дула. Но допустим, что удалось бы сделать орудие, которое выдерживало бы давление в 10 000 атмосфер, в этом случае скорость снаряда не превысила бы 800 метров в секунду, то есть мы выиграли бы всего 100 метров в секунду.

Если же зарядить обыкновенное орудие значительным количеством бризантного вещества, скажем, того же тротила, который бы развивал давление в 3000 атмосфер (такое получается при пользовании порохом), то тогда скорость полета снаряда была бы весьма малой — всего 200 метров в секунду, а не 800. Поэтому пушки и заряжают порохом, сравнительно медленно сгорающим: в сотые и тысячные доли секунды, а не в соты и тысячи.

Кстати сказать, орудия, где газ работает таким образом, являются довольно хорошими машинами; в них используется до 30 процентов энергии пороха на движение снаряда. Однако продолжительность жизни такой машины незначительна: раскаленные газы, движущиеся в стволе с большими скоростями при давлении до 2500—3000 атмосфер, быстро изнашивают ствол. Такое орудие обычно дает около 10 000 выстрелов. Это значит, что оно работает в общем меньше минуты за всю свою жизнь, а если бы для стрельбы применялись бризантные вещества, дающие еще большие давления, орудие жила бы еще меньше.

Посмотрим, как горит порох на воздухе. Возьмем для опыта так называемый макаронный порох, употребляемый в морской артиллерии. Он горит очень спокойно, совсем иначе, чем бризантные взрывчатые вещества. Но такое горение нас не устраивает. Нам надо, чтобы порох горел быстрее. Для этого надо создать

