

СПИНОВАЯ СТАЦИОНАРНАЯ ДЕТОНАЦИЯ

Б. В. Войцеховский

(Новосибирск)

В связи с большой скоростью распространения детонационной волны, обычно достигающей нескольких километров в секунду, явление детонации принято рассматривать как миллимикросекундный процесс.

В течение длительного времени предпринимались попытки осуществить стационарную детонацию, т. е. такой процесс, при котором продолжительность распространения детонационной волны составляет секунды или минуты, в зависимости от количества сжигаемой смеси.

Усилия были направлены главным образом на создание потока, движущегося в трубе со скоростью детонационной волны. При равенстве встречных скоростей потока и детонации фронт детонационной волны может быть остановлен относительно наблюдателя.

Среди различных типов газовых смесей наибольший интерес представляют смеси с высокой теплотворной способностью, обладающие скоростью детонации около 3 км/сек . Получение прямолинейной стационарной детонации в таких смесях практически невозможно, так как при скорости 3 км/сек газ будет воспламеняться на стенках сопла перед фронтом детонационной волны. В работе [1] сообщается, что в предельно обедненной водородно-воздушной смеси, имеющей скорость детонации 700 м/сек , авторам удалось остановить фронт детонационной волны. При более высоких скоростях смесь воспламенялась перед фронтом. Если в каком-либо канале создать условия, в которых исходная газовая смесь с достаточной скоростью непрерывно восполняется перед фронтом детонационной волны, то явление может быть переведено в стационарное состояние для любой высококалорийной смеси.

В данной работе при помощи автоматически действующего затвора, перекрывающего поперечное сечение кольцевого канала в момент инициирования, детонационный процесс закручивался в одну сторону — по часовой стрелке.

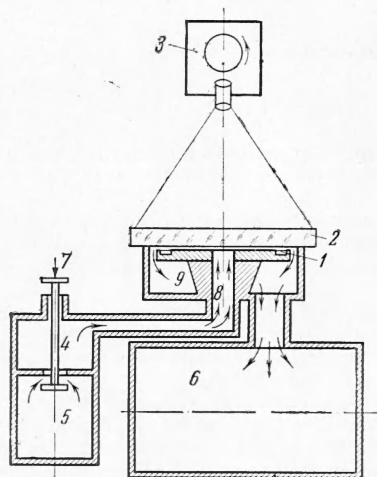
Таким образом удалось осуществить стационарную детонацию в кольцевом канале, продолжительность которой составляла $1-1.5 \text{ сек}$.

Схема установки, в которой была получена стационарная детонация, изображена на фиг. 1. Фронт детонационной волны постоянно распространяется в одном направлении вдоль окружности кольцевого канала. Поперечное сечение канала изображено отдельно на фиг. 2. Канал представляет собой плоский кольцевой зазор между двумя жесткими стенками, одной из которых является стальной диск. Внешняя кромка кольцевого канала имеет наклонный профиль для уменьшения поперечных колебаний. Прямой профиль влечет усиление поперечных колебаний и проникновение детонационной волны в центр диска, затем в баллон с исходной смесью. Второй диск выполнен из оргстекла. Обмен газовой смеси в кольцевом канале осуществляется через две щели, параллельные каналу и расположенные на противоположных сторонах его поперечного сечения. Ширина щелей несколько уменьшена по сравнению с толщиной кольцевого канала. Через одну из щелей поступала исходная газовая смесь, через вторую продукты детонации удалялись в приемный резервуар. Подача газовой смеси осуществлялась в направлении, перпендикулярном направлению распространения детонационного фронта. Для осуществления стационарной детонации необходимо подачу смеси в канал производить в радиальном направлении от центра к периферии, так как при вращательном движении детонационного фронта прорыв пламени навстречу потоку к центру происходит труднее, чем к периферии. При обратном направле-

нии течения газа (от периферии к центру) прорыв пламени в исходный объем происходил бы при меньшем давлении. Эксперименты производились с кислородно-ацетиленовой смесью. В менее чувствительных газовых смесях, как например $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, вероятность прорыва детонационной волны в исходный резервуар уменьшается.

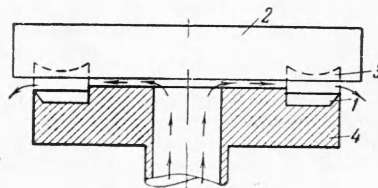
Инициирование смеси в кольцевом канале осуществлялось в одной из точек окружности с помощью искрового разряда между электродом, закрепленным в верхней прозрачной стенке,

и стальным диском, соединенным с корпусом установки. Вблизи точки инициирования расположен затвор, полностью перекрывающий поперечное сечение канала. Синхронно с моментом инициирования начал открываться затвор канала. Прежде чем детонационная волна успевала совершить полный оборот, затвор



Фиг. 1

Фиг. 1. Схема установки, в которой осуществлялась кольцевая стационарная детонация; 1 — кольцевой канал; 2 — верхняя прозрачная стенка кольцевого канала из оргстекла; 3 — фоторегистр; 4 — клапан; 5 — баллон с исходной смесью; 6 — бак, принимающий сгоревший газ, откачиваемый предварительно до необходимого давления; 7 — направление запускающего импульса; 8 — центральный канал, подводящий исходную смесь к детонационному кольцу; 9 — сборная кольцевая труба



Фиг. 2

Фиг. 2. Поперечное сечение кольцевого детонационного канала: 1 — кольцевой канал; 2 — диск из оргстекла; 3 — выработка оргстекла по истечении 3—4 сск стационарной детонации; 4 — стальной диск

канала полностью открывался и оставлял свободный проход для циркуляции детонационной волны. Таким образом осуществлялось управление вращением.

Быстрое перемещение затвора проводилось при помощи специального взрывного устройства. Перед проведением эксперимента цилиндр взрывного устройства заполнялся взрывчатой газовой смесью. Корпус цилиндра изготовлялся по возможности облегченным и соединялся с пластиной, осуществляющей перекрытие канала; тяжелый поршень закреплялся неподвижно. Одновременно с инициированием газовой смеси в канале происходило инициирование смеси также в цилиндре. Затвор вместе с цилиндром приобретал ускорение $4 \cdot 10^6 \text{ м/сек}^2$. Если не применять специальных приспособлений, то детонационная волна распространяется от места инициирования одновременно в разные стороны. На противоположной стороне кольца детонационные волны сталкиваются, при этом возможен прорыв детонационной волны через питающее сопло в резервуар с исходной смесью. Проблема устранения обратных прорывов детонационной волны представляет собой значительные технические трудности. Она решается путем выбора специальной формы питающего сопла и установления необходимого режима давлений.

После столкновения двух встречных волн в течение некоторого времени происходит размножение числа фронтов, затем наступает стабильный процесс частых столкновений детонационных волн. При этом весь газ

сгорает в детонационных волнах. Такой процесс, в отличие от стационарной кольцевой детонации, назовем *стационарной пульсирующей детонацией*, поскольку детонационные волны совершают частые возвратно-поступательные движения в канале. При изучении пульсирующей стационарной детонации была проведена серия экспериментов в отрезке кольцевого канала. С этой целью кольцевой канал был в двух местах перекрыт радиально расположенными перегородками. Как и следовало ожидать, явление при этом ничем не отличалось от пульсирующей стационарной детонации в замкнутом кольце. Совершенно такая же картина пульсирующей стационарной детонации должна наблюдаться, если отрезок окружности выпрямить в отрезок прямой. В этом случае вдоль прямолинейного канала также будут совершать возвратно-поступательное движение несколько детонационных фронтов. На фоторегистрограмме такого процесса будет наблюдаться сетка, образованная двумя семействами характеристик.

До сих пор мы рассматривали стационарную детонацию в линейном канале, замкнутом или незамкнутом. Стационарная кольцевая детонация может наблюдаться только в замкнутом линейном канале.

Пульсирующая стационарная детонация может наблюдаться в обоих случаях линейного канала, а также между двумя плоскостями, если подачу газовой смеси производить через большое число отверстий, перпендикулярных одной из плоскостей, удаление продуктов детонации — через соответствующие отверстия второй плоскости.

В этом случае единственным устойчивым режимом будет следующий: вся плоская область будет разделена детонационными фронтами на треугольники и многоугольники, непрерывно изменяющие свою форму в результате перемещения фронтов. Ячейки, образованные пересекающимися фронтами, в принципе не отличаются от ячеек, образованных поперечными детонационными волнами в нормальной детонационной волне. Непрореагировавший слой газа, сжатый прямой ударной волной нормальной детонационной волны, эквивалентен слою газовой смеси в зазоре между двумя плоскостями.

Необходимо отметить возможность еще одного случая плоской пульсирующей стационарной детонации. Представим себе полый цилиндр с торцовой стенкой, снабженной большим числом мелких отверстий, через которые раздельно поступают две компоненты детонирующей смеси. В этом случае вдоль питающей поверхности может образоваться слой газа, способный детонировать. Если толщина образовавшегося слоя превышает предельную, то вдоль него в различных направлениях начинают распространяться детонационные волны, образующие ячеистый узор.

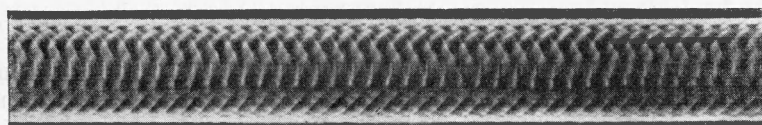
Любые другие виды пульсирующей стационарной детонации будут неустойчивыми. Например, при однократном иницировании газовой смеси в центре полого диска и обмене смеси через плоскости невозможно создать устойчивую детонационную волну, периодически расходящуюся из центра и вновь иницируемую сходящимся ударным фронтом, отраженным от окружности. После нескольких пульсаций произойдет размножение числа фронтов, которые разделят плоскость на множество отдельных треугольников и многоугольников.

Размеры ячеек должны зависеть от состава смеси и давления по тем же законам, которые применимы при определении размеров ячеек нормальной детонационной волны.

Пульсирующая стационарная детонация сопровождается столкновениями детонационных волн, в результате чего образуются местные пики давления, которые в предельных условиях малого запаса прочности могут повлечь за собой разрушение детонационной камеры. Кольцевая стационарная детонация характеризуется вращением нескольких детонационных фронтов в одном направлении вдоль замкнутого канала, при этом столкновения детонационных фронтов отсутствуют, что позволяет поднимать начальное давление смеси.

В дальнейшем будем рассматривать исключительно кольцевую стационарную детонацию, в связи с чем под термином стационарная детонация будем понимать кольцевую стационарную детонацию.

Для получения стационарной детонации необходимо исключить один из двух фронтов в момент инициирования взрывчатой смеси в кольцевом канале. Сравнительно легко это достигается установлением неполной неподвижной перегородки в канале вблизи места инициирования. Однако неподвижная перегородка не всегда направляет детонационный процесс в одну сторону. Иногда имеет место проскок детонации по другую сторону неполной перегородки, после чего образуется несколько фронтов, сталкивающихся между собой. Совершенно устойчивое распространение фронтов в одном направлении достигается с помощью упомянутого выше механического затвора, полностью перекрывающего поперечное сечение трубки.



Фиг. 3. Типичная фоторегистрограмма стационарной детонации

Фотографирование стационарной детонации в кольцевом канале на движущуюся пленку осуществлялось через верхнюю прозрачную стенку (фиг. 1, 2) с помощью фоторегистра, расположенного над диском со стороны плоского стекла. Фоторегистр устанавливался таким образом, чтобы оптическая ось объектива совпадала с осью кольцевого канала. Изображение диска располагалось в пределах пленки. При распространении фронта детонационной волны вдоль окружности диска его изображение на движущейся пленке описывало циклоиду. Одна из фоторегистрограмм, полученных таким способом, изображена на фиг. 3. На этой фоторегистрограмме можно рассмотреть пять отдельных ниток гипоциклоиды. На снимке зафиксирована пятиголовая стационарная детонация. В связи с тем, что стационарная детонация представляет собой длительный процесс, времени одного оборота барабана с пленкой было недостаточно для фиксации всего процесса. Для увеличения длительности записи был применен качающийся фоторегистр, корпус которого поворачивался вокруг оси, перпендикулярной оси вращения пленки. Съемка осуществлялась с большого расстояния с таким расчетом, чтобы зарегистрировать явление на узкой дорожке, ширина которой в несколько раз меньше ширины пленки. В результате сложения двух взаимно перпендикулярных разверток циклоида регистрировалась вдоль спирали на цилиндрической поверхности барабана с пленкой. Запуск второй развертки осуществлялся с помощью вспомогательного взрыва, происходящего синхронно с инициированием смеси. Под действием взрыва корпус фоторегистра получал момент импульса и совершал вращение с практически постоянной скоростью на протяжении небольшого угла α , определяемого из выражения

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{b}{2f}$$

где b — ширина пленки, f — фокусное расстояние объектива.

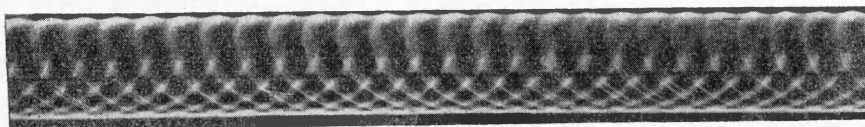
На фиг. 4 помещена фоторегистрограмма нескольких детонационных фронтов, распространяющихся в разных направлениях и сталкивающихся между собой. На фоторегистрограмме можно рассмотреть правильную периодическую картину столкновений детонационных волн.

Для анализа физических процессов, сопровождающих стационарную детонацию, зафиксируем внимание на одной из точек кольцевого канала.

После прохождения фронта детонационной волны мимо этой точки возникает скачок давления и вслед за тем сгоревшая смесь немедленно начинает отесняться вновь поступающей исходной смесью, которая занимает область клина, изогнутого вдоль кольцевого канала с вершиной за фронтом детонационной волны и с основанием, совпадающим со следующим детонационным фронтом. Схема расположения фронтов многоголовой стационарной детонации изображена на фиг. 5. Проекция Δl каждого фронта стационарной детонации на направление радиуса равна

$$\Delta l = \frac{\pi du}{Dn} \quad (1)$$

Здесь d — диаметр кольцевого канала, u — скорость подачи смеси, D — скорость стационарной детонации, n — число фронтов, одновременно вращающихся вдоль окружности.



Фиг. 4. Фоторегистрограмма пульсирующей стационарной детонации

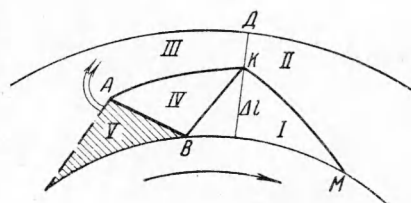
Величина Δl не зависит от скорости u обмена смеси. Увеличение u ведет к пропорциональному увеличению числа фронтов. Величины Δl и D , входящие в выражение (1), остаются постоянными.

Необходимо отметить, что стационарная детонация, как правило, бывает многоголовой и только на пределе детонации может существовать одиночный детонационный фронт. На фоторегистрограмме (фиг. 3) можно рассмотреть пять фронтов, вращающихся в одном направлении. Могут наблюдаться также другие устойчивые числа фронтов. В многоголовой стационарной детонации число фронтов устанавливается предельно большое и совершает устойчивые колебания вокруг постоянной величины. Это свойство стационарной детонации легко понять, если учесть, что случайное затухание одного из фронтов увеличивает ширину и, тем самым, устойчивость оставшихся фронтов. Необходимо напомнить, что каждый фронт является основанием клина, образованного исходной смесью. Если ширина фронта превышает предельную, то после случайного сокращения числа фронтов предельная ширина достигается впереди хотя бы одного фронта, что ведет к восстановлению числа фронтов. В обратном случае при увеличении числа фронтов выше постоянной величины образуются слабые, легко затухающие фронты, ширина которых ниже предельной, что приводит к сокращению числа фронтов до устойчивой величины.

Таким образом, многоголовая стационарная детонация представляет собой весьма устойчивый процесс.

Скорость распространения многоголовой стационарной детонации равна скорости звука в продуктах горения. Это замечательное свойство стационарной детонации позволяет расшифровать структуру детонационных фронтов. Рассмотрим распределение ударных фронтов в окрестности одного из детонационных фронтов.

Учитывая указанное свойство, естественно предположить, что энергия, необходимая для инициирования газовой смеси, передается к голове фронта вдоль полосы сгоревшего газа. Рассматриваемая звуковая волна



Фиг. 5. Схема расположения фронтов в окрестности одной из стационарных детонационных волн

распространяется вдоль полосы, к которой примыкает холодный газ. Происходит преломление звуковой волны на границе раздела с образованием косоугольной ударной волны в холодном газе. Свяжем систему координат с точкой K , в которой ударная волна пересекается (фиг. 5) с линией контактного разрыва KM холодного и сгоревшего газов. Линия KM является фронтом горения, перемещающимся с малой скоростью относительно газа. Введем обозначения областей цифрами: I — область, в которой течет холодный невозмущенный газ, II — область, занятая сгоревшим невозмущенным газом, III — зона разрежения в сгоревшем газе, IV — область за фронтом косоугольной ударной волны, V — область за фронтом ударной волны, отраженной от внутренней стенки кольцевого канала.

Величины, относящиеся к зонам I—V, будем обозначать соответственно арабскими цифрами 1—5. В рассматриваемой системе координат как в зоне I, так и в зоне II, газ течет со скоростью звука c_2 .

В зоне III создается волна разрежения. Течение в этой зоне описывается решением Прандтля — Майера. Зона IV является областью покоя, где давление и скорость везде постоянны и равны соответствующим величинам за фронтом косоугольной ударной волны KB .

Фронт KD предполагается перпендикулярным линиям тока. Если давление p_3 за фронтом KD известно, то углы между фронтами в окрестности точки K можно определить, решая систему уравнений

$$p_4 = p_3 \left(\cos \sqrt{\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2 + 1}} \varphi \right)^\Gamma \quad \left(\Gamma = \frac{2\gamma_2}{\gamma_2 - 1} \right)$$

$$\chi = \varphi + \arctg \left(\sqrt{\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2 + 1}} \operatorname{ctg} \sqrt{\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2 + 1}} \varphi \right)$$

$$\frac{2}{\gamma_1 - 1} \left(1 - \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_2 - 1} \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1 - \theta)}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right) = \frac{c_2^2}{c_1^2} \sin^2 \varphi_1 \left(1 - \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1 - \theta)}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right) \quad \left(\theta = \chi - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\chi = \angle AKD, \quad \gamma_2 = \gamma_3, \quad p_4 = \frac{2c_1}{\gamma_2 + 1} c_2^2 \sin^2 \varphi_1$$

Здесь p_4 — давление вдоль линии контактного разрыва AK и в области IV, φ — угол между направлением KD и соответствующей характеристикой (из первых двух уравнений φ исключается); φ_1 — угол между линиями тока в области I и фронтом косоугольной ударной волны KB , θ — угол поворота течения на скачке KB ; величины p , χ , φ_1 , θ , φ можно вычислить, выражая их через p_3 , c_1 , c_2 , γ_1 , γ_2 , γ_3 .

Учитывая, что скорость звука c_2 равна 1.4 км/сек, можно предполагать, что на фронте KB воспламенения не происходит. Поперечные детонационные волны, случайно возникающие вдоль фронта KB , должны немедленно сбегать в открытое пространство за точкой K , где они теряются. Воспламенение газа может происходить в точке B после отражения косоугольной ударной волны KB от жесткой стенки.

Внешняя и внутренняя стенки кольца подвергаются более сильному воздействию со стороны циркулирующих волн, чем средняя часть кольца. После каждых пяти-шести опытов верхняя прозрачная стенка из оргстекла приобретала углубление на участке, который являлся стенкой кольцевого канала (фиг. 2). Характерно, что внешний и внутренний края канала под действием отраженных волн были углублены значительно сильнее, чем средняя часть.

Проведем две контрольные радиальные плоскости, перпендикулярные кольцевому каналу: одну перед фронтом детонационной волны и вторую — за фронтом, на расстоянии, равном нескольким ширинам канала. Применительно к этим двум контрольным поверхностям можно выписать уравнения сохранения: вещества, импульса и энергии. При составлении

уравнений, в отличие от обычного способа их написания, необходимо учитывать, что масса и энергия распределены вдоль поперечного сечения неравномерно, в связи с чем величины в уравнениях отнесены ко всему поперечному сечению, а не к единице сечения потока

$$\begin{aligned}(h - \Delta l) \rho_2 c_2 + \Delta l \rho_1 c_2 &= \rho_* \bar{v}_* h = jh \\ hp_1 + (h - \Delta l) \rho_2 c_2^2 + \Delta l \rho_1 c_2^2 &= p_* h + hp_* v_*^2 \\ p_1 h c_2 + \varepsilon_2 \rho_2 (h - \Delta l) c_2 + \varepsilon_1 \rho_1 \Delta l c_2 + \frac{1}{2} \rho_2 c_2^3 (h - \Delta l) + \\ + \frac{1}{2} \rho_1 c_2^3 \Delta l &= p_* h v_* + \varepsilon_* \rho_* h v_* + \frac{1}{2} \rho_* h v_*^3.\end{aligned}$$

Левые части уравнений относятся к контрольной поверхности перед фронтом детонационной волны, а — правые к контрольной поверхности за фронтом. На второй контрольной поверхности поток предполагается однородным. В последнем уравнении ε — внутренняя энергия единицы массы вещества. Разность $\varepsilon^* - \varepsilon_1 = q$ равна теплоте, выделяющейся при сгорании единицы массы исходной смеси. В связи с тем, что в приведенные уравнения входит известная скорость c_2 набегающего потока, оказывается возможным вычислить давление на второй контрольной поверхности. Детонация в кольцевом канале протекает так, как если бы количество тепла, выделившееся вдоль фронта AB , распределилось бы равномерно по всему сечению канала. В данном случае переход газа из начального состояния в сгоревший осуществляется не по адиабате Гюгонио, а по адиабате Пуассона. Адиабата, соответствующая продуктам детонации, расположена параллельно адиабате Пуассона для исходной смеси на небольшом расстоянии от нее.

Необходимо особо рассмотреть процесс обмена горючей смеси в кольцевом канале. Подача смеси производится через суженное отверстие из баллона, где создается давление 500—600 мм рт. ст. Пуск установки осуществляется ударом бойка по клапану. Все искровые иницирующие разрядники соединяются параллельно между собой через катушки индуктивности. Период каждого колебательного контура берется равным примерно 10^{-6} сек.

При условии $C_1 \gg C_2 + C_3 + C_4 + \dots$ напряжение на емкостях C_2 ; C_3 ; ... растет до удвоенного начального напряжения, если не прерывается пробоем соответствующего искрового промежутка. После открытия клапана подача смеси происходит в условиях критического истечения, для которого выражения скорости и плотности газовой смеси, а также расход газа имеют вид

$$v_k = c_0 \sqrt{\frac{2}{\gamma + 1}}, \quad \rho_k = \rho_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}, \quad Q = v_k \rho_k s_1 = s_1 c_0 \rho_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{1}{2} \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}$$

Здесь s_1 — минимальное сечение питающего тракта.

Сечение выхлопной щели обозначим s_2 , тогда, учитывая, что скорость звука в детонационном канале равна D , имеем

$$\begin{aligned}\rho_{2k} &= \frac{Q}{s_2 v_{2k}}, & v_{2k} &= D \sqrt{\frac{2}{\gamma + 1}} \\ \rho_{2k} &= \frac{s_1 c_0 \rho_0}{s_2 D} \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}, & \rho_{20} &= \rho_{2k} \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{-\frac{1}{\gamma - 1}}, & \rho_{20} &= \frac{s_1 c_0 \rho_0}{s_2 D}\end{aligned}$$

Для давления в кольцевом канале имеем

$$\rho_{20} = \frac{\rho_{20}}{\gamma} D^2 = \frac{s_1 c_0 D \rho_0}{s_2 \gamma}, \quad \text{или} \quad p_{20} = \frac{s_1 D}{s_2 c_0} p_0 \quad (2)$$

Режим критического течения в минимальном сечении питающего тракта может выполняться в том случае, если

$$p_{20} < p_* = p_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (3)$$

где p_* — критическое давление. Отсюда подставляем значение p_0 из (2), имеем

$$p_{20} < p_{20} \frac{s_2 c_0}{s_1 D} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}, \text{ или } \frac{s_1}{s_2} < \frac{c_0}{D} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

При выполнении экспериментов по стационарной детонации возникают значительные трудности, связанные, как уже указывалось, с прорывом пламени в исходный объем. Прорывы происходили при начальном давлении в баллоне, превышающем 570 мм рт. ст. С уменьшением ширины щели, через которую поступает несгоревшая смесь, увеличивается верхний предел давления, при котором существует стационарная детонация. Весьма существенна форма поперечного сечения кольцевого канала. Переход от канала к щели должен иметь обрывистый профиль, как изображено на фиг. 2. В каналах с плавным переходом к щели стационарная детонация не осуществляется, поскольку любое возмущение, возникшее в детонационном канале, многократно усиливается при вхождении в плавно сужающуюся щель, ширина которой мала по сравнению с шириной канала. Плавный переход от щели к каналу позволил бы осуществить сверхзвуковое течение в исходной смеси, поступающей в канал. Была проведена большая серия опытов с такими плавными переходами; однако при всех давлениях наступал обратный прорыв пламени или ниже определенного предела давления детонация затухала.

Скорость распространения многоголовой стационарной детонации, измеренная на фоторегистрограммах (напр., фиг. 3), составляла 1.4 км/сек, т. е. не отличалась от скорости звука в продуктах горения. Если каким-либо способом затруднять условия протекания детонации, т. е. приближаться к пределу детонации по составу смеси или размерам сечения канала, то число голов начинает сокращаться, при этом скорость фронта приближается к обычной скорости, рассчитанной по Чепмену—Жуге.

Таким образом, скорость стационарной детонации растет с ухудшением условий ее протекания и изменяется в пределах от скорости звука в продуктах горения до скорости детонации в обедненной смеси.

В каждом опыте давление в питающем резервуаре уменьшалось по мере истечения газовой смеси. Соответственно этому на фоторегистрограммах было замечено сокращение числа голов к концу процесса и одновременно увеличение скорости детонации.

Относительно внешних признаков пламени стационарной детонации необходимо отметить, что цвет его сине-зеленый, в отличие от желтого цвета пламени обычного горения. По-видимому, вследствие мгновенного сжигания атомы углерода не успевают рекомбинироваться в крупные группы и этим достигается более полное сгорание взрывчатой смеси. Протекание стационарной детонации сопровождается излучением монотонного звука с частотой nf , где n — число фронтов, f — частота вращения каждого фронта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николс, Диборс и Гилер. Исследования по стабилизации газовой детонации. *Вопр. реактивн. техн.*, 1959, № 11.