

**ДЕТОНАЦИЯ ЖИДКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЕЙ  
ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*В. А. Летыгин, В. С. Соловьев*

*(Москва)*

Жидкие взрывчатые смеси (ЖВС) на основе тетранитрометана нормально детонируют со скоростью, близкой к гидродинамической при тех температурах, когда смесь находится в жидком состоянии. При понижении температуры смесь кристаллизуется, т. е. меняется ее физическое состояние. Изменяется также и механизм возбуждения и развития детонации.

Очевидно, что механизм развития детонации будет в первую очередь определяться физической структурой вещества заряда. Например, детонация в замерзшем чистом тетранитрометане будет развиваться аналогично для всех твердых ВВ, развитие детонации в замерзшей смеси горючего и окислителя будет происходить по-иному. Следует иметь в виду, что в жидком состоянии смеси тетранитрометана представляют собой бинарные растворы горючего и окислителя.

При охлаждении смеси происходит кристаллизация одного (окислителя) или обоих компонентов. Имеется набор горючих с очень широким диапазоном температур замерзания — со свойствами, близкими к тетранитрометану, например нитробензол, и наоборот, сильно отличающиеся, например бензин Б-70, соляровое масло.

Имеет место расслоение компонентов, причем могут представиться следующие случаи: а) окислитель в твердом состоянии, горючее в твердом; б) окислитель в твердом состоянии, горючее в жидком; в) окислитель в жидком состоянии, горючее в твердом.

Рассмотрим первые два. Одним из важных вопросов является размер зерен окислителя и зерен или жидких частиц горючего и их взаимное расположение. Последнее обстоятельство в первую очередь определяется скоростью охлаждения. При медленном охлаждении, например, раствором гипосульфита, выпадают крупные хлопья окислителя (до нескольких сантиметров), а горючее в виде капель «защемляется» между хлопьями окислителя. Здесь налицо расслоение смеси, которое особенно хорошо наблюдать для компонентов, меняющих окраску при смешении. Например, смесь тетранитрометана с дизельным топливом при нормальных температурах, состоящая из практически бесцветных компонентов, становится при смешении бурно-красной и опять бесцветной при охлаждении. В данной статье наиболее подробно будут изложены результаты исследований детонационной способности жидких взрывчатых смесей при быстром охлаждении, когда образуется мелкодисперсная структура заряда размером зерен 5-10 мк. Таким образом, до охлаждения имеем молекулярную дисперсность смеси, после охлаждения —

механическую смесь. Следует также отметить, что при быстром охлаждении ЖВС имеет место ряд сопровождающих этот процесс явлений. Например, выделение при кристаллизации пузырьков четырехоксида азота, что создает в заряде дополнительные поры и может повлиять на развитие детонационного процесса и особенно на его возбуждение.

Одна и та же по своему химическому составу ЖВС обладает различной детонационной способностью в различных физических состояниях:

при температурах, когда оба компонента находятся в жидком состоянии ( $D=7680$  м/сек) — идеальная детонация;

ЖВС в замерзшем состоянии при быстром охлаждении (мелкодисперсная структура) ( $D=5900$ – $1800$  м/сек) — неидеальная детонация.

ЖВС в замерзшем состоянии при медленном охлаждении (крупнодисперсная структура) ( $D=1800$ – $2000$  м/сек) — неидеальная детонация.

Меняя физические свойства смеси, можно получить несколько различных устойчивых скоростей детонации.

Известно, что так называемая идеальная скорость детонации тесно связана со скачком давления, и она достигается в случае, если скорость детонации высока. С увеличением кристаллов (зерен) наблюдается тенденция к разделению гидродинамического и химического процессов.

Рассматриваемые ЖВС обладают высокой расчетной теплотой взрыва: при стехиометрическом соотношении компонентов  $Q=1800$  ккал/кг; и несколько меньшей, чем следовало бы ожидать, скорости детонации ( $D=7680$  м/сек). В смесевых ВВ на фронте ударной волны разложение компонентов горючего и окислителя и последующее образование конечных продуктов реакции происходит практически мгновенно. По этой причине термин «идеальная детонация» даже для ЖВС при нормальных температурах условен, так как тепло, идущее на поддержание детонационного фронта, выделяется постадийно.

Очевидно, что в замерзшем состоянии ЖВС будут детонировать в неидеальном режиме. При замерзании ЖВС весь континуум вещества можно представить как совокупность реагирующих элементов горючего и окислителя, имеющих довольно большие размеры. Если ударная волна способна разложить элементы горючего и окислителя, то для образования конечных продуктов необходимо, чтобы газообразные объемы горючего и окислителя продиффундировали в пространство между двумя поверхностями. Процесс растягивается во времени. Следовательно, на поддержание детонационной волны может идти только часть выделившейся энергии.

При проведении экспериментов необходимо было ликвидировать ряд возникших трудностей, основными из которых являлись поддержание требуемой температуры от момента установки заряда до момента подрыва и ликвидация отпотевания поверхности сборки, мешающего оптической регистрации процесса.

Регистрация процесса возбуждения и развития детонации производилась скоростным фоторегистром СФР в варианте щелевой развертки. Иницирование ЖВС осуществлялось при помощи промежуточного детонатора из тротила или жидкой взрывчатой смеси. Подрыв смеси тетранитрометана с бензином (70 : 30 по объему), охлажденной до  $-1^{\circ}\text{C}$ , дал значение скорости детонации  $7600$  м/сек, что практически совпадает со скоростью детонации жидкой смеси (рис. 1). Причиной этому является оттаивание смеси в процессе подготовки к подрыву и развитие детонации по пленке оттаившей смеси ( $d_{кр} = 0,05$  мм). Наличие ярких чередующихся вспышек свидетельствует о защемлении воздуха. При той же температуре смесь ТНМ с нитробензолом (70 : 30),

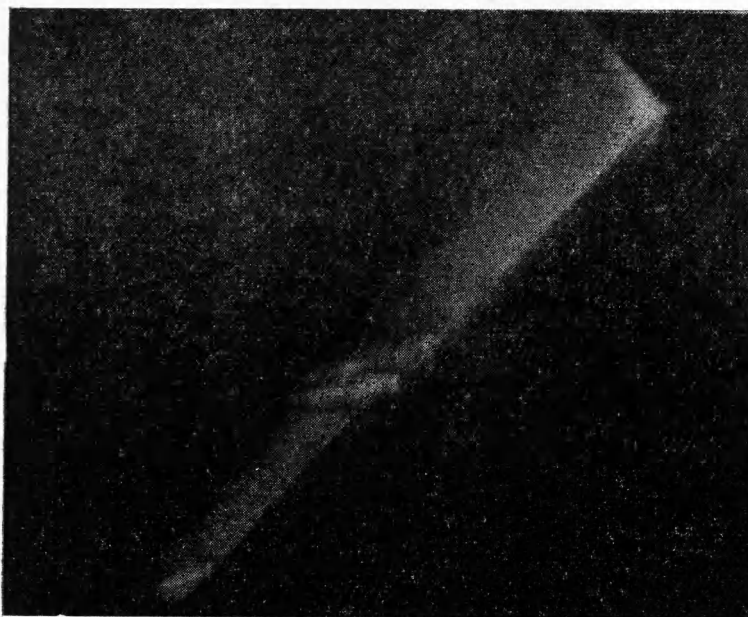


Рис. 1. Детонация смеси ТНМ с бензином (70 : 30) при  $-1^{\circ}\text{C}$ .

имеющая более высокую температуру замерзания, детонировала со скоростью 5900 м/сек.

Для поддержания более стабильной температуры использовались сборки, в которых смесь с трех сторон была окружена охладителем, и только передняя плексигласовая стенка, обращенная к объективу, была свободна от охладителя. В этом случае для смесей ТНМ с бензолом (70 : 30) и ТНМ с нитробензолом (70 : 30), охлажденных до  $-5^{\circ}\text{C}$ , были получены значения  $D$ , равные 4150 и 3340 м/сек соответственно (рис. 2). На рис. 2 чередуются яркие и темные следы, что свидетельствует о нестабильности процесса, для которого  $\tau_1$  — время детонации

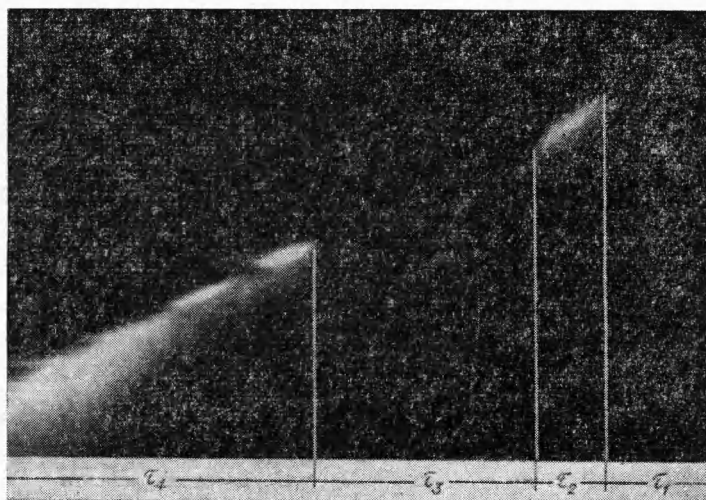


Рис. 2. Детонация смеси ТНМ с бензолом (70 : 30) при  $-5^{\circ}\text{C}$ .

промежуточного детонатора,  $\tau_2$  — время детонации растаявшего слоя смеси под промежуточным детонатором (промежуточный детонатор не охлаждается). На участке, соответствующем времени  $\tau_3$ , отмечается очень слабое свечение, которое через некоторое время переходит в стабильное свечение, развивающееся в течение времени  $\tau_4$ . След детонации на участке  $\tau_3$  носит затухающий характер.

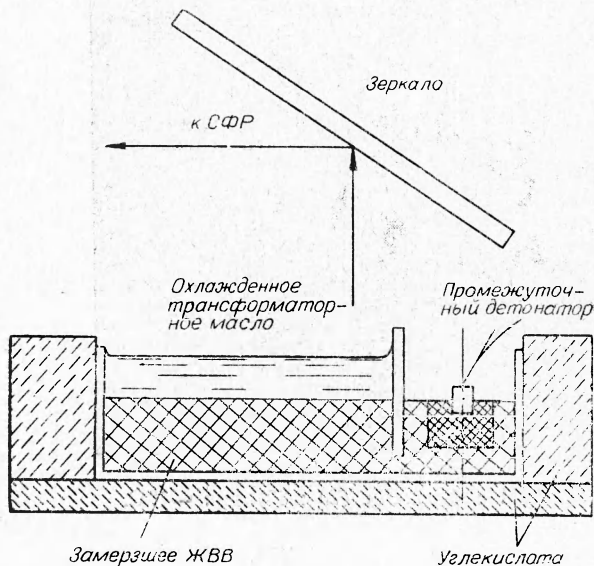


Рис. 3. Схема эксперимента по исследованию детонационной способности смесей, охлажденных до  $-30^\circ\text{C}$ .

на рис. 3, изготовленные из латуни, обладающей высокой теплопроводностью. Нижняя и боковая стороны сборок обкладывались сухим льдом, а регистрация процесса производилась через зеркало.

В первых экспериментах получить на пленке след детонации не удавалось, хотя факт детонации регистрировался по характеру разрушения сборки. Причиной являлось интенсивное покрытие инеем свободной поверхности заряда. Этого избежать можно было бы, если перед охлаждением поверх слоя ЖВС налить слой трансформаторного масла, охлажденного до требуемой температуры, имеющего в несколько раз большую относительную вязкость, чем ЖВС, и меньшую плотность.

Предварительное охлаждение трансформаторного масла и его малая теплопроводность позволили иметь хорошие условия для быстрого и равномерного охлаждения ЖВС и, главное, производить регистрацию процесса детонации, так как поверхность масла не покрывалась инеем.

Для смесей ТНМ — бензин Б-70 и температур  $-20$  и  $-30^\circ\text{C}$  соответственно получены значения скоростей детонации, равные 2020 и 1860 м/сек. Эти значения очень малы, а сама детонация слабо светится.

Начальный участок фоторегистрации, соответствующий  $\tau_3$ , совсем не светится и составляет до  $1/3$  длины заряда. Полученные результаты сведены в таблицу. Представить результаты для раз-

Затухающий характер процесса при переходе из промежуточного заряда в инициируемый, по нашему мнению, объясняется наличием индукционного периода в процессе установления детонации и объясняется общепринятым в настоящее время механизмом [1, 2].

Как показали эксперименты,  $\tau_3$  очень чувствительно к температуре заряда и мощности промежуточного детонатора.

С целью изучения процесса возбуждения и развития детонации при еще более низких температурах использовались сборки, представленные

Тип ВВ	$T, ^\circ\text{C}$	$D, \text{м/сек}$
ТНМ—бензол (70:30)	— 1	6500
	— 1	5920
	— 5	4300
	— 10	3340
ТНМ—бензин (70:30)	— 2)	2020
	— 30	1860



ных ЖВС в одной таблице авторы сочли возможным, поскольку все рассматриваемые ЖВС при нормальных условиях имеют примерно одну и ту же скорость детонации (7500—7700 м/сек), а условия кристаллизации бинарных растворов горючего и окислителя подобны. Таблица выражает тенденцию, наглядно подчеркивающую зависимость скорости детонации от температуры.

*Поступила в редакцию  
11/IV 1967*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. S. J. Jacobs, T. P. Liddiard, B. E. Drimmer. 9-th Symposium (International) on Combustion, 1963, p. 517.
  2. Джонсон-м.л. Ракетная техника и космонавтика, 1965, 11.
-