

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон. Сборник по теории взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1940, стр. 177.
2. Н. А. Холево. Канд. дисс. Казань, КХТИ, 1947.
3. Ф. И. Бюден, А. Д. Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., ИЛ, 1955.
4. Л. Г. Болховитинов. Канд. дисс. М., ИХФ АН СССР, 1960.
5. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом. М., «Наука», 1968.
6. К. К. Андреев, Ю. А. Теребилина. Сб. «Теория взрывчатых веществ». М., Оборонгиз, 1963.
7. В. К. Боболев, И. А. Карпунин, ФГВ, 1967, 3, 4, 471.
8. I. D. Hightower, E. W. Price. 11-th Symposium (International) on Combustion, 1967.
9. В. А. Горьков, Г. Х. Курбангалина. ФГВ, 2, 2, 1966.

УДК 662.215.2

ОСОБЕННОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ПРИ БОЛЬШИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Е. А. Левин,
С. А. Ловля, Ю. П. Неласов
(Москва)

Возбуждение взрыва при повышенном гидростатическом давлении осуществляется путем передачи детонации от герметичного взрывателя (взрывной патрон) к основному заряду устройства. Передающей средой является вода, буровой раствор, нефть. Рассмотрим, как могут сказаться условия, действующие в скважине, на передачу детонации¹.

Повышенное гидростатическое давление может вызвать: 1) изменение поля ударных волн вокруг взрывателя, связанное с изменением сжимаемости среды, передающей ударную волну; 2) изменение свойств ВВ пассивного заряда вследствие сжатия ВВ заряда гидростатическим давлением, сжатия газов в порах заряда и частичное заполнение пор жидкостью, а также растворения газов в порах и полное заполнение пор ВВ окружающей жидкостью.

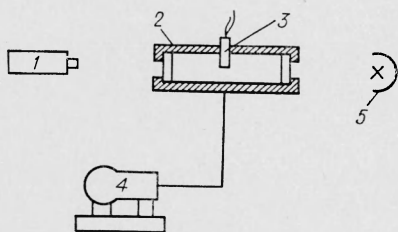


Рис. 1. Схема установки.
1 — СФР; 2 — автоклав с оптическими вводами; 3 — взрывное устройство; 4 — насос; 5 — импульсный источник света.

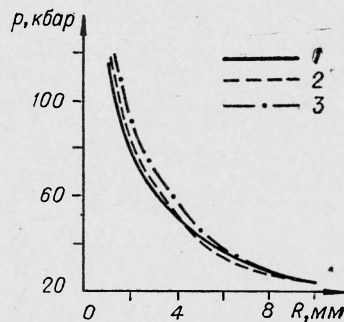


Рис. 2. Поле давлений патрона по его оси при гидростатических давлениях (атм):
1 — 1; 2 — 500; 3 — 800.

¹ Влияние температуры в данной работе не рассматривается.

Для проверки первого соображения были рассчитаны по уравнению состояния [1] ударные адиабаты воды при гидростатических давлениях до 1000 бар. На экспериментальной установке (рис. 1) получена зависимость скорости ударной волны от расстояния до торца взрывного патрона по его оси при различных давлениях. По рассчитанным ударным адиабатам эта зависимость была перестроена в координатах пиковое давление на фронте ударной волны — расстояние до торца патрона (рис. 2). Поскольку плотность воды с гидростатическим давлением меняется несильно (в исследуемом интервале приблизительно на 5%), то, как и ожидалось, поле патрона при этих давлениях практически не изменилось. На той же установке были по методу отражения [2]

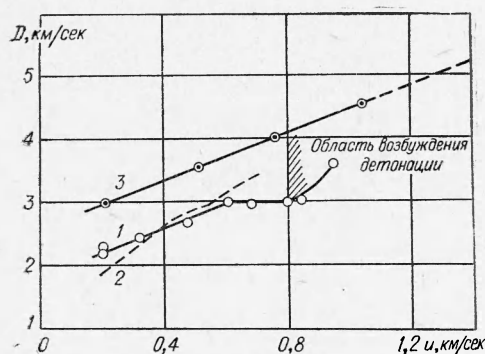


Рис. 3. Ударные адиабаты флегматизированного гексогена плотностью 1,64 г/см³ (на воздухе).

1 — в порах заряда находится воздух; 2 — расчетная кривая (в порах заряда воздух); 3 — поры заряда полностью заполнены водой.

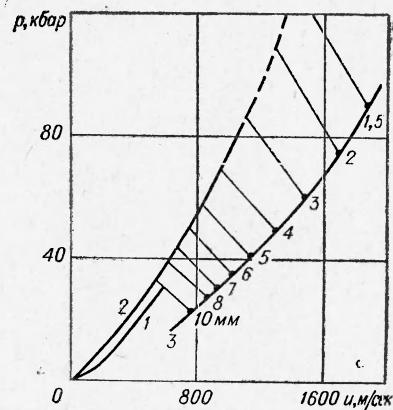


Рис. 4. Ударные адиабаты флегматизированного гексогена в координатах.

1 — ударная адиабата флегматизированного гексогена с порами заполненными воздухом; 2 — ударная адиабата флегматизированного гексогена порами, заполненными водой; 3 — ударная адиабата воды (цифры соответствуют различным расстоянием от патрона).

сняты ударные адиабаты флегматизированного гексогена плотностью 1,64—1,65 г/см³. Цилиндрические шашки флегматизированного гексогена диаметром 15 и высотой 5 мм помещались на различных расстояниях (2—16 мм) от дна патрона. По записи СФР определялась скорость подходящей к ВВ ударной волны в воде и время вход — выход ударной волны из пассивного заряда. Подобные же опыты были проведены и под гидростатическим давлением до 1000 бар. Результаты опытов показаны на рис. 3 и 4. Предварительно проведенная фотосъемка на СФР через две щели (одна по центру, вторая на 1 мм от боковой поверхности заряда) показала, что подходящая ударная волна достаточно близка к плоской и одновременность входа и выхода ударной волны по ВВ незначительна.

Полученные ударные адиабаты удовлетворительно согласуются с расчетными, полученными в предположении аддитивной сжимаемости всех компонент ВВ по их ударным адиабатам до конечного давления, равного пиковому давлению в ударной волне. При этом использовались ударные адиабаты воды [1], воздуха [2], гексогена [3] и парафина [4]. Расчет производился по формулам:

$$\eta_i = \frac{v_i}{v}; \quad \sum_i \eta_i = 1; \quad \rho = \sum_i \eta_i \rho_i;$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \frac{\sum_i \eta_i \int_{p_0}^p \frac{\partial \rho_i}{\partial p} dp}{\sum_i \eta_i \rho_i};$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{D}{D - u}; \quad \Delta p = \rho_0 D u,$$

откуда

$$D^2 = \Delta p \frac{\left[1 + \frac{\sum_i \eta_i \int_{p_0}^p \frac{\partial \rho_i}{\partial p} dp}{\rho_0} \right]}{\sum_i \eta_i \int_{p_0}^p \frac{\partial \rho_i}{\partial p} dp},$$

где η_i , v_i , $\frac{\partial \rho_i}{\partial p}$ — соответственно объемная концентрация, объем и сжимаемость по ударной адиабате i -й компоненты.

В области гидростатических давлений до 250 бар результаты носят явно нестационарный характер. Заполнение пор водой на этом участке носит индивидуальный характер и сильно зависит от структуры заряда и других факторов. При гидростатических давлениях, превышающих 250—300 бар, заполнение пор водой осуществляется практически полностью за время, необходимое для создания давления в автоклаве и подготовки взрыва. Полученные результаты ложатся с хорошей точностью на кривую, совпадающую с расчетной ударной адиабатой флегматизированного гексогена с порами, полностью заполненными водой.

На рис. 5 показана зависимость расстояния передачи детонации от патрона ВТШТ-2 к заряду флегматизированного гексогена плотностью 1,64 г/см³, диаметром 15 мм, высотой 20 мм от гидростатического давления в воде и хорошо смачивающей ВВ жидкости. Как видно, для хорошо смачивающей ВВ жидкости расстояние передачи практически не зависит от гидростатического давления уже при $p > 70$ бар. При полном заполнении пор жидкостью чувствительность ВВ к ударной волне не меняется и для возбуждения необходима волна (по ВВ) амплитудой 110—120 кбар, что сравнимо с чувствительностью монокристалла ВВ. Кривая 1 (см. рис. 5) носит более пологий характер, поскольку вода не смачивает флегматизированный гексоген и процесс заполнения пор затруднен. Тем не менее при давлениях, больших 800 бар, предельное расстояние передачи составляет аналогичную величину (~2 мм), т. е. для возбуждения детонации необходима волна амплитуды 110—120 кбар. Сказанное выше позволяет утверждать, что основным фактором, ухудшающим передачу детонации в жидкости под давлением, является заполнение пор ВВ жидкостью, существенно ухудшающей восприимчивость ВВ к ударной волне. Это соображение высказывалось ранее [5, 6].

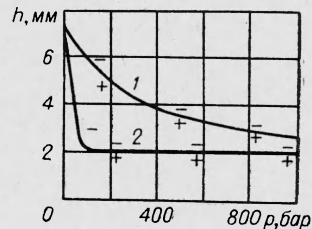


Рис. 5. Зависимость расстояния передачи от гидростатического давления для патрона ВТШТ-2.

1 — в воде; 2 — в насыщенном растворе парафина в бензине.

Оценка эффективности использования врыва в скважинах, где существуют большие ограничения на размещение зарядов, имеет практическое значение. Естественно, что работа взрыва с ростом гидростатического давления должна падать. Для оценки изменения работоспособности ВВ с ростом гидростатического давления была проведена серия

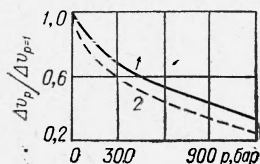


Рис. 6. Зависимость относительной работоспособности ВВ от начального давления среды.

1 — флегматизированный гексоген; 2 — тротил.

опытов с подрывом зарядов в видоизмененных свинцовых бомбах, помещаемых в сосуд высокого давления. С этой целью свинцовая бомба с зарядом исследуемого ВВ помещалась в автоклав, создавалось необходимое давление и производился подрыв. Поскольку условия опытов, за исключением величины давлений, не менялись, относительное расширение бомбы служило мерой изменения работы, производимой взрывом при разных давлениях. Расширения бомбы при взрывах герметичных и негерметичных зарядов в этих условиях практически совпадают, за исключением небольшого расхождения на участке малых давлений.

Результаты опытов в координатах относительное расширение $\frac{\Delta v_p}{\Delta v_{p=1}}$ (Δv_p — расширение бомбы при давлении p , $\Delta v_{p=1}$ — при атмосферном давлении) — давление показано на рис. 6. Зависимость относительного расширения бомбы от давления хорошо описывается выражением

$$\frac{\Delta v_p}{\Delta v_{p=1}} = k e^{\alpha p},$$

где k — равно 1,126; 1,246 и $\alpha = 0,801 \cdot 10^{-3}$; $0,971 \cdot 10^{-3}$ для флегматизированного гексогена и тротила соответственно. Опыты с взрывчатыми веществами с разной удельной энергией показывают, что работа взрыва с давлением падает быстрее у энергетически бедных ВВ (см. рис. 6).

Качественной мерой изменения работоспособности ВВ может служить рост величины заряда, обрывающего трубу с повышением давления, при котором производился взрыв. Так, опыты со стальными трубками диаметром 18 мм, в которых при разных гидростатических давлениях подрывался цилиндрический заряд из

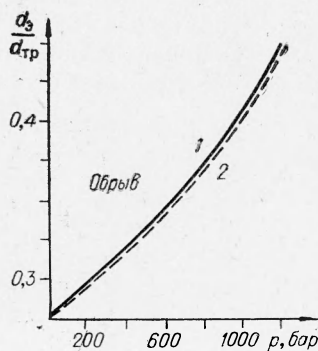


Рис. 7. Зависимость диаметра обрывающего трубу заряда от гидростатического давления.

1 — трубки 16×18,2 мм; 2 — трубки 16×24 мм.

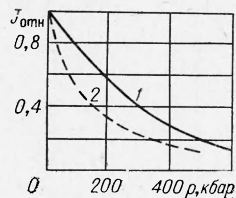


Рис. 8. Зависимость относительного импульса от начального давления.

Флегматизированный гексоген;
1 — $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$;
2 — $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$.

флегматизированного гексогена, показали, что диаметр заряда (d_3) для обрыва трубок ($d_{тр}$) меняется в зависимости от гидростатического давления по закону:

$$d_3/d_{тр} = ke^{\alpha p},$$

где $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-4}$; k — константа, зависящая от условий опыта (рис. 7).

Опыты, проведенные на бризантometре типа Каста при различных начальных давлениях, также показали, что относительный импульс ВВ, взрываемого в жидкости, падает с ростом гидростатического давления (рис. 8). Относительный импульс для зарядов меньшей плотности с ростом начального давления падает скорее.

Поступила в редакцию
14/III 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Яковлев. Гидродинамика взрыва. Судпромгиз, 1963.
2. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. «Наука», 1966.
3. В. С. Илюхин, П. Ф. Похил и др. Докл. АН СССР, 1966, 131, 4.
4. А. Н. Дремин, Г. А. Ададулов. Докл. АН СССР, 1958, 128, 2.
5. Г. В. Димза, С. А. Ловля, Ю. П. Неласов. Нефтегазовая геология и геофизика. Вып. 8, 1964.
6. Ф. А. Баум, А. С. Державец, Ж. М. Дуванова. Сб. «Взрывное дело», № 63/20, «Недра», 1967.

УДК 532.593+662.215

УДАРНАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ПОРОХА НБ В СПЛОШНОМ И ПОРИСТОМ СОСТОЯНИИ

В. А. Веретенников,
А. Н. Дремин, К. К. Шведов
(Москва)

Оценка возможного разогрева твердых ВВ во фронте детонационной волны важна для развития правильных представлений о механизме их превращения. Такую оценку можно провести, располагая данными об ударной сжимаемости ВВ в сплошном и пористом состоянии [1, 2].

В настоящей работе определены ударные адиабаты баллиститного пороха НБ-40, содержащего 60% пироксилина и 40% нитроглицерина в сплошном ($\rho_0 = 1,63 \text{ г/см}^3$) и пористом ($\rho_0 = 1,0 \text{ г/см}^3$) состоянии.

Пористые образцы составлялись из сферических частиц того же пороха с удельным весом $\rho = 1,63 \text{ г/см}^3$ двух размеров: $\delta = 0,43$ и $\delta = 2,0 \text{ мм}$.

Ударные адиабаты были получены путем измерения массовой скорости во фронте ударной волны на границе раздела инертная преграда — исследуемое вещество (u_0) и скорости фронта (D) на конечной базе посредством электромагнитного метода [3, 4].