

О ВЗРЫВНОМ ПЕРЕКРЫТИИ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКОСТЬЮ ИЛИ ГАЗОМ

В. А. Огородников, А. Г. Иванов, А. Л. Михайлов, В. Н. Минеев*,
В. Брайтунг**

РФЯЦ, ВНИИ экспериментальной физики, Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва, 607190 Саров, root@gdd.vniief.ru

*Объединенный институт высоких температур РАН, 127412 Москва

**Институт нейтронной физики и реакторной техники центра ядерных исследований, Карлсруэ, Германия

Приведены новые результаты экспериментального исследования взрывного способа перекрытия стальных трубопроводов различных типовых размеров с относительной толщиной стенки $5 \div 7\%$ и диаметром до 424 мм, заполненных жидкостью или газом, которые подтверждают перспективность этого способа. Показано, что при изменении размеров трубопроводов примерно в 20 раз при скорости пластин-ударников ≈ 200 м/с каких-либо особенностей в процессе их перекрытия не появляется. При этом расход взрывчатого вещества увеличивается от 3 г до 3,5 кг, а откольного разрушения или дробления материала пластин-ударников и экранов не наблюдается.

Ключевые слова: взрывчатые вещества (ВВ), перекрытие трубопроводов, жидкости и газы.

Вопрос о возможности быстрого (за несколько миллисекунд) взрывного перекрытия стальных трубопроводов сравнительно небольших размеров (диаметр $20 \div 150$ мм, толщина стенки $0,6 \div 5,0$ мм), заполненных жидкостью или газом, применительно к задачам уменьшения последствий аварийных ситуаций, например, в нефтяной и газовой промышленности, в атомной энергетике решен в экспериментальном и расчетно-теоретическом планах [1, 2]. Однако внедрение этого решения в современные технологии требует убедительного обоснования в силу использования взрывчатых веществ (ВВ). В данной работе, продолжающей исследования [1, 2], приведены новые экспериментальные данные, полученные при взрывном перекрытии трубопроводов с изменением их размеров в 20 раз.

Как и в [1, 2], использовали способ плавного нагружения необходимого участка трубопровода, заполненного жидкостью (водой) или газом (воздухом), с помощью массивных пластин-ударников, разгоняемых одновременно навстречу друг другу с помощью скользящей детонации заряда ВВ. Массу и скорость ВВ находили из условия полного перехода начальной кинетической энергии пластин-ударников в работу пластической деформации при схлопывании стенок трубопровода. Для устранения возможных локальных недожатий в центре и у краев схлопывающихся стенок

трубопровода на нагружаемом участке его поверхности устанавливали концентратор напряжений в виде металлического кольца, выполненного из цилиндрического прутка диаметром d , который вдавливался в материал стенок при возникающем пластическом течении [2].

Поскольку скорость пластин-ударников не должна быть настолько велика, чтобы возбудить, например, в жидкости волны сжатия большой интенсивности, то очевидно, что при геометрически подобном увеличении диаметра и толщины стенок трубопровода это условие будет реализовываться при постоянной скорости за счет увеличения массы (размеров) пластин-ударников.

На рис. 1 приведена фотография экспериментальной сборки перед одним из опытов по реализации перекрытия участка трубопровода $\varnothing 424 \times 12$ мм, заполненного водой. Детонацию основного заряда ВВ возбуждали с помощью генератора линейной детонационной волны, подробное описание которого приведено в [1, 2]. Пластины-ударники, экраны и концентратор напряжений выполняли из стали ($\rho_1 = 7,85$ г/см³). В опытах использовали трубы с относительной толщиной стенки $\delta = \Delta/R = 5,3 \div 6,7\%$ и диаметром $22 \div 424$ мм, которые были заполнены воздухом или водой при нормальных условиях ($T = 300$ К, $p = 0,1$ МПа). Отношение длины трубопровода к его диаметру составляло $L/2R \geq 5 \div 10$. В таблице приведены

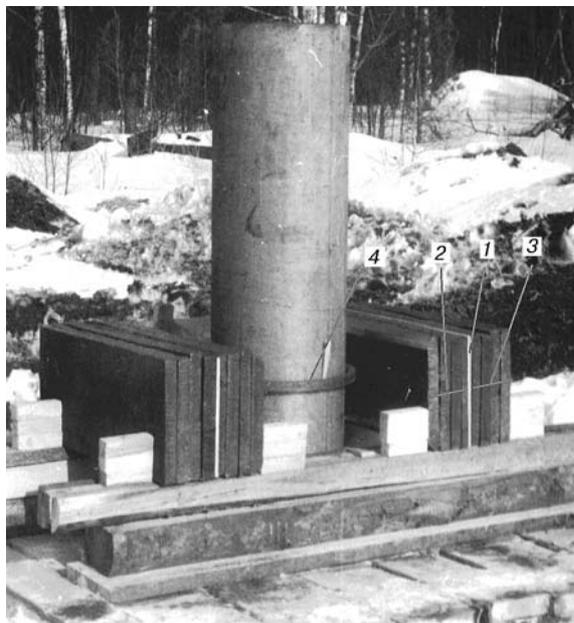


Рис. 1. Фотография экспериментальной сборки:
1 — основной заряд ВВ, 2 — пластины-ударники, 3 — экраны, 4 — концентратор напряжений

условия постановки опытов: Δ , R — толщина стенки трубы и ее радиус; l , h — длина и ширина пластин-ударников и экранов; Δ_1 , Δ_2 , Δ_0 — толщины пластин-ударников, экранов и заряда ВВ; d — диаметр прутка, из которого выполнен концентратор; W — скорость пластин-ударников. В опытах использовали пластическое ВВ плотностью $\rho_0 = 1,51 \text{ г/см}^3$ со скоростью детонации $D = 7,8 \text{ км/с}$. Скорость ударника оценивали по соотношению из [3]

$$W = D \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_0}{\rho_1} \frac{\Delta_0}{\Delta_1} \frac{\Delta_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \right)^{1/2}$$

и использовали для установки угла соударения $\varphi = \text{arctg}(W/D)$.

На рис. 2 приведены фотографии участков трубопроводов различных типовых размеров после нагружения пластинами-ударниками по описанной выше схеме. Трубопроводы перед нагружением заполняли водой. В случае заполнения воздухом внешний вид трубопровода после нагружения оставался практически таким же, как и на рис. 2.

Полученные в опытах результаты подтвердили перспективность выбранного способа перекрытия трубопроводов различных типовых размеров диаметром до 424 мм, заполненных как жидкостью, так и газом. Выявлено, что по мере увеличения размеров трубопрово-



Рис. 2. Фотография труб различных типовых размеров:

1 — $\varnothing 22 \times 0,6$, 2 — $\varnothing 113 \times 3,0$, 3 — $\varnothing 150 \times 5,0$, 4 — $\varnothing 424 \times 12$

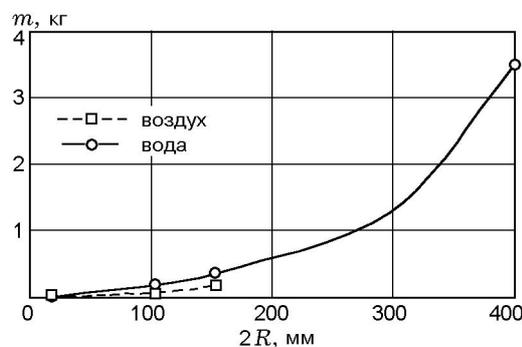


Рис. 3. Зависимость массы заряда ВВ от диаметра перекрываемых трубопроводов

Среда	Номер опыта	Труба			l , см	h , см	Δ_2 , см	Δ_0 , см	Δ_1 , см	W , м/с	d , см
		$2R \times \Delta$, мм	Материал	δ , %							
Вода	1	22 × 0,6	40X	5,5	12,0	2,5	0,25	0,03	0,75	121	0,3
	2	113 × 3,0	Ст. 20	5,3	30,0	6,5	4,0	0,23	4,0	205	0,8
	3	150 × 5,0	X18H10T	6,7	45,0	15,0	8,0	0,37	6,0	225	0,8
	4	424 × 12	X18H10T	5,7	80,0	35,0	16,0	0,96	14,5	225	3,0
	5	424 × 12	X18H10T	5,7	80,0	21,0	40,0	0,70	14,5	228	3,0
Воздух	6	22 × 0,6	40X	5,5	12,0	2,5	0,1	0,03	0,5	121	0,3
	7	113 × 3,0	Ст. 20	5,3	30,0	6,5	2,0	0,20	2,0	270	0,5
	8	150 × 5,0	X18H10T	6,7	45,0	15,0	4,0	0,26	4,0	226	0,8



Рис. 4. Фотографии труб ($\varnothing 424 \times 12$ мм) после нагружения ударниками:

1 — опыт № 4; 2 — опыт № 5 (номера опытов соответствуют номерам в таблице)

да увеличиваются массы пластин-ударников, экранов и ВВ. Зависимость расхода ВВ от диаметра трубопровода приведена на рис. 3. Опыты по перекрытию трубопровода максимальных размеров ($\varnothing 424 \times 12$ мм) с помощью заряда ВВ и экрана, толщины которых менялись,

иллюстрируют возможности оптимизации способа (таблица, рис. 4). С точки зрения воздействия на окружающую среду важно отметить, что во всех опытах не наблюдалось откольного разрушения или дробления материала пластин-ударников и экранов.

Из вышеизложенного следует, что в рамках рассматриваемого взрывного способа задача импульсного перекрытия (за несколько миллисекунд) относительно тонкостенных ($\delta = 5 \div 7$ %) стальных трубопроводов диаметром до 424 мм, заполненных жидкостью или газом, отличающихся размерами примерно в 20 раз, решается вполне удовлетворительно, а возможности оптимизации условий нагружения и минимизации расхода ВВ еще полностью не исчерпаны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огородников В. А., Иванов А. Г., Мишуков В. В. и др. Импульсное схлопывание стальных цилиндрических оболочек, заполненных жидкостью или газом // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 33, № 1. С. 122–130.
2. Способ перекрытия трубопровода / В. А. Огородников, В. А. Григорьев, В. В. Мишуков. Пат. РФ. Б.И. 1998. № 8.
3. Иванов А. Г., Кочкин Л. И., Огородников В. А., Тюнькин Е. С. Особенности разгона пластин скользящей ДВ при наличии присоединенной или сосредоточенной массы // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 5. С. 127–129.

Поступила в редакцию 27/IX 2001 г.