

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОРОНОК, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗРЫВЕ ПОДВОДНЫХ НАКЛАДНЫХ ЗАРЯДОВ НА ПЕСКЕ

УДК 622.235

Л. В. Городилов, А. П. Сухотин

Институт горного дела СО РАН, 630091 Новосибирск

Представлены результаты лабораторных исследований формы и размеров воронок, образующихся при взрыве подводных накладных зарядов на песке. Построены зависимости изменения основных параметров воронок от глубины воды. Предложено объяснение различий, наблюдаемых в параметрах воронок при изменении глубины воды, а также объяснение существования оптимальной глубины, при которой параметры воронок достигают максимума.

Впервые в отечественной практике накладные заряды для дноуглубительных работ начали применяться в 30-х годах при расширении и углублении фарватеров рек и песчаных перекатов. Опыт ведения таких работ, технология, а также некоторые результаты исследований воронок, образующихся при взрыве на песке, представлены в [1, 2]. Замечено, что значительное влияние на размеры воронок оказывает толщина слоя воды над поверхностью дна. Так, обработка (приведение к кубическому корню от массы заряда Q или радиусу заряда r_0 линейных размеров воронки и глубины воды H) результатов экспериментальных взрывов сосредоточенных зарядов аммонита массой $1 \div 8$ кг на песчаном дне при $H = 0-2$ м [1] показывает, что в диапазоне $H/Q^{1/3} = 0-1,3$ м/кг^{1/3} ($H/r_0 = 0-23$) радиус воронки выброса увеличивается в $\sim 1,5$ раза, а при увеличении параметра $H/Q^{1/3}$ до $1,9$ м/кг^{1/3} (H/r_0 до 32) он сохраняет свое значение. Отмечено существование оптимальной глубины воды $H/Q^{1/3} = 1,5-1,7$ м/кг^{1/3} ($H/r_0 = 25-30$), при которой радиус максимальный.

Методика эксперимента. Опыты проводили в бассейне размером $900 \times 900 \times 900$ мм. Емкостью для песка служил металлический ящик ($400 \times 400 \times 200$ мм). Плоскость поверхности песка выравнивали по боковым граням ящика. После взрыва на поверхность опускали нить, которая двумя грузами, перекинутыми через боковые грани ящика, натягивалась горизонтально. Она свободно внедрялась в разрыхленную поверхность песка и представляла собой линию, по которой проходила первоначальная поверхность. От уровня нити линейкой измеряли глубину воронки h и высоту гребня b , а по длине нити — радиус воронки R и радиус плоского дна R_1 (рис. 1). За объем воронки V принимали объем усеченного конуса с радиусами оснований R и R_1 и высотой h . В опытах использовали песок плотностью $1,9$ г/см³ (скорость распространения звуковых волн 1500 м/с) с размером зерен $0,1-0,4$ мм и прессованные сферические заряды из тэна массой $Q = 0,2$ г, плотностью $1,4$ г/см³.

Результаты опытов и их обсуждение. Обычно воронки (рис. 1, а) имели широкий гребень 1, образуемый песком, вытесненным и выброшенным из эпицентра взрыва, и плавные, почти конусообразные борта 2, постепенно переходящие в плоское дно 3, состоящее из переизмельченного песка. Внешний вид воронок аналогичен полученным при взрывах

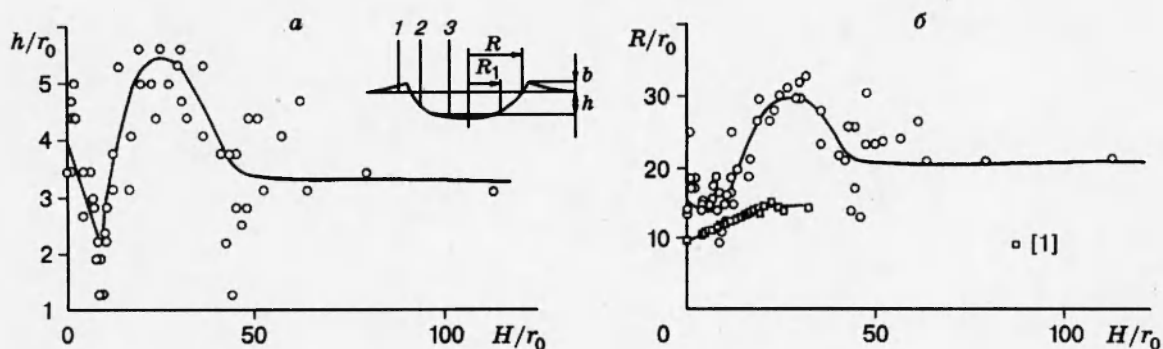


Рис. 1

накладных зарядов на песке в натуральных условиях [1].

Зависимости линейных размеров воронки от глубины воды H/r_0 , приведенных к радиусу заряда, представлены на рис. 1. Большой разброс экспериментальных данных связан с трудностями фиксации зарядов на поверхности песка, неточностями в замере воронок, свойствами песка. Для сравнения на рис. 1, б нанесены точки, полученные в результате обработки натуральных экспериментов по взрывам накладных зарядов из аммонита массой $Q = 1-8$ кг на среднезернистом песке при $H = 0-2$ м [1]. Значительные различия данных, полученных в лабораторных опытах и натуральных условиях, можно объяснить свойствами исследовавшихся песков и разными масштабами взрыва.

Рассмотрим изменение параметров воронок, наблюдаемых при изменении глубин воды. В диапазоне $H/r_0 = 0-10$ размеры образующихся воронок уменьшаются. Глубина H/r_0 является критической. Начиная с нее радиус и глубина воронки увеличиваются и достигают максимальных значений $R = 30r_0$ и $h = 5r_0$ при $H/r_0 = 25-30$. Дальнейший рост глубины воды ведет к существенному уменьшению размеров воронок, а при $H/r_0 > 60$ они стабилизируются ($R = 21r_0$, $h = 3,2r_0$). Отметим также большой разброс точек при $H/r_0 = 45$.

Радиус плоского дна R_1 изменялся аналогично радиусу воронки и, как правило, был в два раза меньше его. Гребень в опытах фиксировался не всегда и влияния глубины воды на его высоту b в опытах не обнаружено: $b = (1-3)r_0$.

На рис. 2 представлена зависимость объема воронки от глубины воды. Особенности, наблюдаемые при рассмотрении предыдущих зависимостей, присутствуют и здесь, в еще более резкой форме. Так, при $H/r_0 = 10$ и 45 значения некоторых экспериментальных точек близки к нулю. Максимальный объем воронки соответствует $H/r_0 = 28$ и в $\sim 4-6$ раз превышает объем в отсутствие воды и в ~ 3 раза — в глубоководном бассейне.

Попытаемся объяснить особенности в изменениях линейных размеров и объема воронки, происходящие при разной глубине воды. Уменьшение размеров воронки в диапазоне $H/r_0 = 0-10$ вызвано тем, что с увеличением слоя воды над поверхностью дна возрастает сопротивление с ее стороны выбросу песка из эпицентра взрыва. Меняется механизм формирования воронки: от преимущественно выброса среды, происходящего при малых глубинах через поверхность воды, к вытеснению его под водой. Поэтому, несмотря на рост общего импульса взрыва при увеличении глубины воды, размеры воронки уменьшаются до минимума. Дальнейший рост H ведет к быстрому увеличению размеров воронки, что можно объяснить увеличением взрывного импульса выше уровня, достаточного для

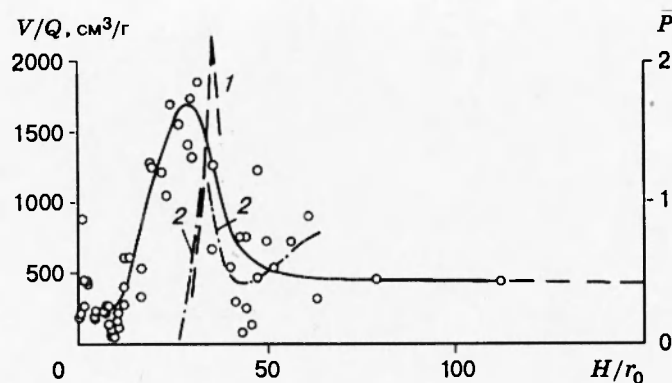


Рис. 2

формирования взрывной воронки в условиях скрытой водой поверхности песка.

С практической стороны особое значение имеет наличие оптимальных глубин, при которых параметры воронки (особенно объем) достигают максимума. Для песка значения оптимальных глубин соответствуют $H/r_0 = 25-30$.

Объяснение этого эффекта следующее. Известно, что при глубоководном взрыве наблюдается несколько пульсаций газовой полости, причем импульс, излучаемый в воду во время первой пульсации, сравним с импульсом в основной ударной волне. Можно предположить, что при взрыве на песке давление и импульс во время первой пульсации оказывают существенное влияние на процесс образования воронки. В [3] впервые указано существование аномального увеличения амплитуды давления во время первой пульсации при взрыве на глубине, близкой к $30r_0$. В [4] приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований этого явления и дается его объяснение. Оказывается, что при таком заглублении заряда во время первой пульсации создаются условия для формирования кумулятивной струи, направленной вертикально вниз, которая при схлопывании газовой полости с высокой скоростью внедряется в ее донную часть и этим вызывает аномально высокое (по сравнению с глубоководным взрывом) давление в ударной волне.

Экспериментальные зависимости \bar{P} от глубины воды показаны на рис. 2, где \bar{P} — максимальная амплитуда давления в ударной волне для первой пульсации, отнесенная к его значению для безграничной жидкости (кривая 1 — $Q = 250$ г, кривая 2 — $Q = 1,5$ г [4]). Ход этих кривых в диапазоне $20 < H/r_0 < 70$ качественно подобен поведению зависимостей параметров воронки (особенно объема) от глубины воды. Некоторое различие в значениях H/r_0 , при которых наблюдаются максимумы параметров воронок и максимальные значения амплитуд давления при первой пульсации, может быть отнесено за счет разницы в масштабах и условиях взрыва.

В [2] представлены результаты взрывов на выброс подводных накладных зарядов на скальных породах (мергелях и песчаниках). Глубина воды изменялась от 2 до 9 м, масса зарядов — от 23 до 118 кг. Оказалось, что максимальные размеры воронок при взрывах зарядов массой 70–118 кг образуются при $H = 6-9$ м, т. е. оптимальная глубина в этом случае, как и при взрывах на песчаном дне, составляет $(25-29)r_0$. Возможно, оптимумы, определенные в [2] для видимых размеров воронок (уборка породы после взрывов не производилась), вызваны теми же причинами, что и для песчаного дна. Отличие заключается в том, что в случае скального дна во время первой пульсации может быть произведен

дополнительный выброс лишь той части породы, которая была раздроблена за время предыдущего взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тавризов В. М. Взрывные работы на водных путях. М.: Госстройиздат, 1956.
2. Галкин В. В., Гильманов Р. А., Дроговейко И. З. Взрывные работы под водой. М.: Недра, 1987.
3. Коул Р. Подводные взрывы. М.: Изд-во иностр. лит., 1950.
4. Кедринский В. К. Поверхностные эффекты при подводном взрыве // ПМТФ. 1978. № 4. С. 66–87.

Поступила в редакцию 17/VIII 1995 г.
