

А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, С.А. Яцюк

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ДОННЫХ ГРУНТОВ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина*

Альтернативой применению взрывчатых веществ (ВВ) для разрушения прочных донных грунтов при производстве дноуглубительных работ на акваториях морских и речных портов может стать способ электроразрядного разрушения неметаллических материалов. Суть его заключается в использовании воздействия ударной волны, генерируемой электроразрядом (ЭР).

Так же, как и при использовании ВВ в разрушаемом объекте, бурятся шпуры, которые заполняются водой, но вместо ВВ устанавливается электродная система, когда при подаче импульса высокого напряжения в шпуре происходит пробой жидкости в разрядном промежутке. Этот процесс сопровождается мгновенным расширением канала разряда и возрастанием давления на фронте ударной волны до нескольких десятков тысяч атмосфер.

Как показали исследования, ЭР обладает рядом преимуществ по сравнению со взрывом ВВ, а именно: возможностью регулировать силовое воздействие на разрушаемый материал; отсутствием бризантности, что исключает разлет осколков, обеспечением заданного, направленного откола.

Отношение энергии импульса сжатия к энергии заряда ВВ на приведенных к единице веса расстояниях порядка 100 см/г оказывается равным 20%, что близко к величине электроакустического КПД электрических разрядов в воде. Энергия пульсации газового пузыря, образованного взрывом ВВ, равна приблизительно 40% энергии заряда, в то время как у ЭР она составляет 25–30% энергии разряда [1]. Такие сходства характеристик позволяют обеспечить положительные результаты при использовании ЭР для разрушения прочных донных грунтов, где невозможно производить взрыв ВВ из-за близости гидротехнических и береговых сооружений.

Особенности процесса разрушения слоистых донных грунтов обусловлены следующими особенностями их строения:

- неоднородностью пластов по прочности;
- наличием низкопрочных, промежуточных слоев $\sigma_{сж} < 10$ МПа;
- размерами и толщиной пластов от 0,2 до 5 м;
- глубиной залегания пластов;
- рельефом пластов с перепадами до 2 м;
- наличием карстовых пустот в верхних слоях.

В результате ЭР в шпуре на границе с массивом грунта за счет мгновенного расширения канала разряда образуется ударная волна сжатия, скорость распространения которой в глубь массива зависит от плотности разрушаемой среды и давления волны сжатия, генерируемой ЭР.

В зоне, примыкающей к объему шпура, напряжение сжатия становится намного выше прочности грунта, вследствие чего последний сжимается, образуя камуфлетную (сферическую) полость, радиус которой намного превышает радиус канала разряда.

В результате давления волны сжатия, превышающего сопротивление среды, грунт разрушается и оказывается под давлением поступательного движения по направлению радиуса действия волн сжатия. Максимальное разрушение происходит в сторону линии наименьшего сопротивления (ЛНС) материала со сторон уступа или углубления. Вызванные волной сжатия напряжения за пределами зоны разрушения становятся меньше сопротивления сжатия грунта, но еще достаточны, чтобы образовывать трещины в зоне трещинообразования. Размер и форма трещин зависят от физико-механических свойств грунта, величины энергии разряда и глубины залегания грунта. Граница зоны трещинообразования определяет схему размещения шпуров.

Для получения требуемого эффекта рыхления дна требуется такое размещение шпуров, при котором ЭР обеспечит сплошное разрушение грунта на их глубину. При ЭР механизм разрушения представляется в следующей последовательности. Волна сжатия в начале воздействия на околошпуровую зону разрушает ее радиальными трещинами на 2–3 радиуса шпура или увеличивает существующие трещины. Газовый пузырь, образовавшийся вслед за ударной волной, вгоняет с большой скоростью воду в микротрещины материала, расклинивая его. Отраженные от свободных поверхностей волны интерферируют и воздействуют дополнительно на трещины, доводя их до критических размеров.

Многочисленными экспериментами в акватории Севастопольского морского порта установлена зависимость глубины шпура, радиуса зоны разрушения и трещинообразования от энергии разряда (см. таблицу, рис. 1).

Результаты экспериментов электроразрядного рыхления грунтов в акватории Севастопольского морского порта

№ опыта	Энергия, кДж	Прочность грунта, $\sigma_{сж}$, МПа	Глубина шпура h , м	Радиус разрушения, м
1	25	5	1	0,35
2	50	10	0,9	0,38
3	50	20	0,7	0,26
4	75	30	0,65	0,31
5	75	50	0,57	0,26
6	75	80	0,5	0,22
7	100	100	0,48	0,23
8	100	120	0,45	0,22
9	100	160	0,4	0,2

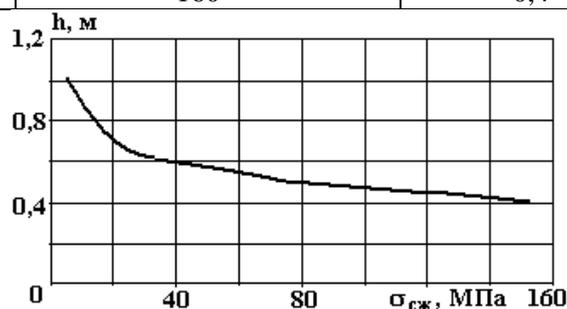


Рис. 1. Зависимость глубины заложения шпуров от прочности грунтов

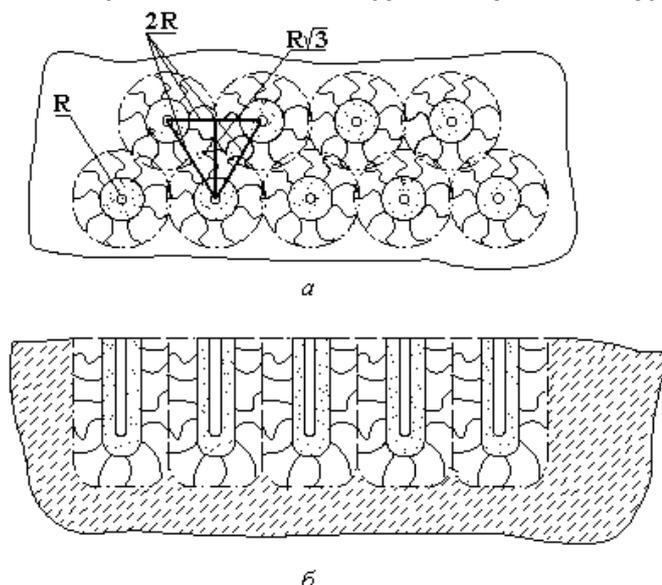


Рис. 2. Схема расположения шпуров при дноуглубительных работах электроразрядами. а – расположение шпуров на плоскости; б – схема в разрезе

Для проведения рыхления донного грунта шпуров необходимо располагать так (см. рис. 2), чтобы начало электроразрядного разрушения выполнялось на расстоянии радиуса R от края пласта,

выступа или углубления на нем. Такая схема позволяет скалывать грунт в сторону наиболее ускоренного достижения трещинами критических размеров, то есть в сторону ЛНС.

Показатель выброса N_b при взрыве ВВ оценивается отношением радиуса разрушения к глубине шпура [2, 3]:

$$N_b = \frac{R_3}{h_{ш}}, \quad (1)$$

где R_3 – радиус разрушения грунта; $h_{ш}$ – глубина шпура.

Для взрывов ВВ показатель выброса всегда больше единицы. Поскольку для ЭР отношение радиуса разрушения к глубине шпура всегда меньше 1, выброс грунта отсутствует. Объемное разрушение грунта происходит по всей поверхности шпура с одинаковой силой, поэтому воронка при взрыве ВВ имеет форму развернутого конуса, а для ЭР разрушения воронка больше напоминает по форме цилиндр или усеченный конус с основанием со стороны свободной поверхности или ЛНС (см. рис. 3). Эти свойства ЭР разрушения необходимо учитывать при размещении шпуров для рыхления грунта или при направленном скалывании прочных пород. Радиус зоны трещинообразования при ЭР превышает радиус разрушения примерно в 1,5–2 раза.

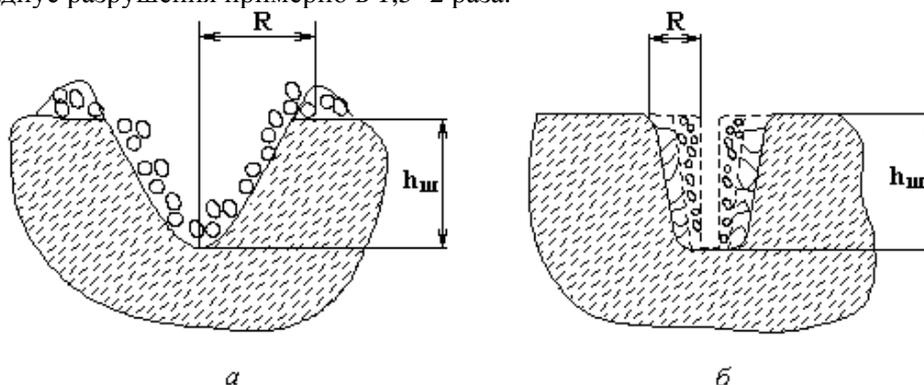


Рис. 3. Общий вид воронок при взрыве ВВ (а) и электроразряде (б).

Экспериментально установлено, что для получения сплошного рыхления расстояние между шпурами в рядах должно соответствовать двум радиусам разрушения, а между рядами – $R\sqrt{3}$, как показано на рис. 2,а. Такая схема нагружения перекрывает зоны трещинообразования, исключает образование «мертвых» зон и обеспечивает максимальную полноту разрушения.

При предлагаемых схемах размещения шпуров и нагружения на донные грунты при одновременном разряде в двух и более рядом стоящих шпурах достигается усиление эффекта разрушения в 1, 2 и более раз.

Ударные волны, следуя от соседних разрядов навстречу друг другу, взаимодействуют и производят суммарный эффект, превышающий действие одиночных разрядов, то есть при снижении суммарного радиуса зоны трещинообразования происходит расширение зоны разрушения. Результаты экспериментальных исследований прошли проверку при проведении дноуглубительных работ в акватории Севастопольского морского порта. На их основе разрабатываются технология и специальное оборудование. Внедрение технологии позволит решить проблему проведения дноуглубительных работ или разрушения прибрежных массивов вблизи строений и коммуникационных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наугольных К. А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М., Наука, 1971. 155 с.
2. Кушнарев Д.М. Взрывные работы в гидромелиоративном и сельском строительстве. М., Издательство литературы по строительству, 1972. 223 с.
3. Вовк А.А., Черный Г.И., Кравец В.Г. Действие взрыва в грунтах. Киев, Наукова думка, 1974. 207 с.

Поступила 18.08.05

Summary

The results of researches on electrodigit destruction of a strong ground problem, directed on the decision, of realization of a deepening on water areas of working sea and river ports near to hydraulic engineering structures and underwater communications are submitted. Is shown, that the application of electrodigit technology will allow to make loosening layered breeds and to exclude application of explosive substances.