

А. Р. Ризун, Ю. В. Голень, Т. Д. Денисюк, В. А. Поздеев

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДОННЫХ ГРУНТОВ

Аннотация: Разработаны технологические режимы и установлены энергетические затраты, представлены схемы силового воздействия и данные о производительности электроразрядного разрушения прочных донных грунтов. Разработано и изготовлено оборудование и внедрен технологический процесс. Электроразрядное разрушение соответствует всем требованиям техники безопасности и нормам производительности в условиях реконструкции действующих морских и речных портов и других сооружений.

Ключевые слова: разрушение электрическим разрядом, производительность, технологические режимы, зоны разрушения.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Разработка новых эффективных, экологически безопасных методов и технологий для разрушения плотных и прочных донных грунтов и скальных пород береговой зоны при гидротехническом строительстве и реконструкции морских и речных портов, терминалов, жилых и береговых сооружений – чрезвычайно актуальная проблема. Существующие традиционные методы (механический и взрывной) не удовлетворяют всем требованиям и потребностям эксплуатации. Так, для механических способов характерны довольно сложные операции постановок плавсредств над участками, где необходимо выполнять работы, ограничение рабочих глубин до 15 м, а также низкая производительность (при глубинах до 9 м для скальных пород прочностью до 20 МПа – не более 3 м³/ч.). Для грунтов более высокой прочности механические спо-

собы вообще не приемлемы. Подводный взрыв при выполнении дноуглубительных работ – способ более экономичный, однако он имеет ограничение: например, нельзя проводить взрывные работы близ гидротехнических и береговых сооружений, в местах прокладки кабелей, трубопроводов, при невозможности в радиусе безопасности (до 200 м) прекращать гидротехнические работы или проход судов. Во время взрывов не только могут пострадать береговые портовые и припортовые сооружения, причалы, проходящие судна, технический флот строителей, но возможно и массовое истребление рыбы. Кроме перечисленных недостатков для обеспечения подводных подрывных работ необходимо также выполнение большого объема водолазных работ.

Как альтернатива взрывному способу разрушения крепких пород предложен более безопасный и эффективный метод – электроразрядный.

2. ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Целью проекта является разработка и внедрение в производство высокоэффективного технологического процесса электроразрядного разрушения прочных донных грунтов при проведении дноуглубительных работ, который позволит существенно уменьшить затраты на строительство и реконструкцию морских и речных портов, разного рода гидротехнических и жилых сооружений береговой зоны.

3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Сущность электроразрядного способа разрушения заключается в использовании воздействия ударной волны, образующейся при высоковольтном разряде в жидкости [1].

Так же, как и при использовании взрывчатых веществ (ВВ), в разрушаемом объекте пробуриваются шпурсы, в которые заливается вода, и вместо ВВ устанавливают электродную систему. При подаче высокого напряжения от установки, генерирующей импульс тока на электродную систему, происходит разряд в разрядном промежутке. Этот процесс сопровождается расширением канала разряда, возрастанием давления, которое может достичь 10^9 Па, и последующим формированием ударной волны.

Электроразрядный способ обладает рядом преимуществ перед взрывом ВВ, а именно:

- возможностью регулирования энергии в процессе проведения разрушений грунта;
- отсутствием бризантности, что исключает разлет осколков;
- отсутствием выделения вредных веществ в процессе разрушения;
- обеспечением заданного, направленного откола.

Результаты исследований подтвердили, что электроразрядный способ является эф-

фективным и безальтернативным методом разрушения прочных грунтов и удовлетворяет всем требованиям техники безопасности, а также даёт возможность при запасаемой энергии до 100 кДж на глубине залегания до 20 м разрушать и рыхлить скальные грунты прочностью до 30 МПа с производительностью до $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ при незначительных энергетических затратах. Подводные съёмки подтвердили безопасность проведения работ электроразрядным способом с точки зрения сохранения флоры и фауны.

Достижение производительности разрушения более прочных грунтов до $5\text{--}8 \text{ м}^3/\text{ч}$ возможно при условии повышения более чем в 3 раза запасаемой энергии электроразряда, а также в случае разработки эффективных схем силового нагружения, понижающих интегральную прочность грунтов до показателей, приемлемых для механической разработки.

Исследованиями [2] установлено, что за счет использования экзотермических композиций (ЭК), при соблюдении всех норм техники безопасности, можно увеличить в несколько раз энергию, выделяемую в канале разряда, а также уменьшить массогабаритные показатели электротехнических систем.

При высоковольтном электроразрядном шпуровом разрушении, высоковольтном электроразрядном инициированном взрыве, шпуровом взрыве ВВ образуются зоны деформации грунта в виде концентрических сфер, размеры которых зависят от многих факторов, главными из которых являются физико-механические свойства грунтов и мощность динамической нагрузки взрывов. В результате электроразряда на границе шпура с грунтом ударная волна сжимает грунт, напряжение сжатия становится значительно выше прочности грунта, вследствие чего грунт сжимается, образуя камуфлетную полость, радиус которой значительно превышает радиус шпура. За камуфлетной зоной образуется зона трещинообразования.

В зависимости от мощности и длительности разрядов для описания напряженно-деформированного состояния грунта в ближней зоне используются различные модели. При мощном электроразряде (электровзрыве) используется модель распространения ударной волны. При менее мощном импульсном воздействии используется модель цилиндрической упругой волны в бесконечном пространстве. Приближенную оценку связи величины зоны трещинообразования с энергией разряда можно получить методом энергетического анализа. Пусть в результате действия внутренних разрывных окружных усилий в цилиндре образуется радиальная трещина. Площадь трещин определим как

$$S_{mp} = R_{mp} h_{un} , \quad (1)$$

где S_{mp} – площадь трещин, м²; R_{mp} – радиус зоны распространения трещин, м; h_{un} – глубина шпура (глубина рыхления), м.

Оценим необходимую энергию для такой трещины. Максимальное окружное усилие определим согласно закону Гука:

$$F_p = E_g \frac{\delta}{l_{mp}} S_{mp} , \quad (2)$$

где F_p – максимальное окружное усилие, кг/м²; E_g – модуль упругости грунта, кг/м³; δ – радиальная деформация цилиндра, м; S_{mp} – площадь трещин, м²; l_{mp} – длина трещин ($l_{mp} = R_{mp}$), м.

Используя (1) из (2), получим:

$$F_p = E_g \delta h_{un} . \quad (3)$$

Среднее усилие определим как $F_p/2$. Тогда работа по образованию трещин (растяжению грунта) будет:

$$A_p = \frac{1}{2} F_p \delta , \quad (4)$$

где A_p – работа по образованию трещин, Дж.

Деформацию δ найдем из выражения (3):

$$\delta = \frac{F_p}{E_g h_{un}} . \quad (5)$$

Тогда работа по образованию трещин определится выражением вида

$$A_p = \frac{F_p^2}{2 E_g h_{un}} . \quad (6)$$

В свою очередь, величина усилий F_p пропорциональна растягивающему напряжению σ_p и площади трещин S_{mp} , т.е.

$$F_p = \sigma_p S_{mp} \quad (7)$$

или

$$F_p = \sigma_p R_{mp} h_{un} . \quad (8)$$

Тогда выражение для работы с учетом (8) примет вид

$$A_p = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_p}{E_g} \right) \sigma_p h_{un} R_{mp}^2 . \quad (9)$$

Согласно [3] для прочных донных грунтов $\sigma_p \sim$ от 10 до 20 МПа, значение E_g 500–1 000 МПа.

Следовательно, $\frac{\sigma_p}{E_g} \sim \frac{1}{500}$ и (9) примет вид

$$A_p = \sigma_p h_{un} R_{mp}^2 \cdot 10^{-3} . \quad (10)$$

С другой стороны, работа разрушения в виде образования трещины связана с энергией электровзрыва (W_B):

$$A_p = \eta W_B , \quad (11)$$

где η – относительная величина полезного использования энергии взрыва.

По оценкам [3] η составляет примерно половину от общей энергии, $\eta = 0,5$; W_B – энергия электровзрыва, кДж.

Приравнявая правые части выражений (10) и (11), получим соотношение

$$W_B = \frac{\sigma_p h_{un} R_{mp}^2}{\eta} \cdot 10^{-3} . \quad (12)$$

Если в результате взрыва образуется k

трещин, то

$$W_B = \frac{k}{\eta} \cdot 10^{-3} \sigma_p h_{un} R_{mp}^2 . \quad (13)$$

Из (13) найдем радиус зоны рыхления с учетом радиуса образования трещин:

$$R_{mp} = \sqrt{\left(\frac{10^3 \cdot \eta}{k}\right) \cdot \frac{W_B}{\sigma_p h_{un}}} . \quad (14)$$

Обычно для прочных пород количество трещин, перекрывающих зону трещинообразования, $k = 20$ [3]. Тогда выражение (14) примет вид

$$R_{mp} = \sqrt{B_\varepsilon \cdot \frac{W_B}{\sigma_p h_{un}}} , \quad (15)$$

где B_ε – коэффициент энергоучета электровзрыва, который для данных условий имеет значение 25.

Величина η (при электровзрыве) учитывает потери тепла на нагрев конструкции электродной системы и нагрев самого вещества в канале разряда.

Полученная зависимость (15) определяет величину радиусов трещинообразования донного грунта, т.е. степень его разупрочнения для дальнейшей механической разработки.

Для оценки зон разрушения донного грунта учитывается предел прочности грунта на сжатие и по аналогии с зависимостью (15) радиус зон разрушения можно определить из соотношения

$$R_p = \sqrt{B_\varepsilon \cdot \frac{W_B}{\sigma_{сж} h_{un}}} , \quad (16)$$

где R_p – радиус зоны разрушения, м; $\sigma_{сж}$ – предел прочности грунта на сжатие, МПа.

Поскольку электровзрыв характеризуется как взрыв уменьшенного выброса, т.е. отношение радиуса зоны разрушения меньше глубины шпура (глубины разрушения), то объем зоны разрушения можно в приближенной форме оценить по формуле

$$V = \pi R_p^2 h_{un} , \quad (17)$$

где V – объем разрушения от каждого разряда, м³; h_{un} – глубина шпура (для электровзрывов уменьшенного выброса равен 0,6 м).

Используя расчетные формулы (15) и (17), устанавливаем зоны разрушения и зоны трещинообразования. Для сплошного рыхления дна с последующей его механической разработкой устанавливаются расстояния между шпурами: шаг $L_u = R_p + R_{mp}$ и интервал $L_u = 0,86 (R_p + R_{mp})$. Схема размещения шпуров основана на перекрывании зон трещинообразования от разряда к разряду с целью критического завершения образовавшихся в грунте трещин.

Для определения общего объема затрат времени на процесс рыхления грунта необходимо учитывать все подготовительные работы. Установлено, что время бурения шпура, технологические операции укладки и снятия электрода составляют 3/4 от общих затрат времени.

Количество циклов или разрядов в час с учетом всех подготовительных работ зависит от прочности грунта и составляет: для грунта с прочностью 20 МПа – 10 циклов; 40 МПа – 4,5 цикла; 60 МПа – 4 цикла.

В процессе проведения работ по разрушению донных грунтов установлено, что объем рыхления от одновременной работы двух электродов в 1,2 раза выше, чем при двух электродах, работающих по очереди. Для достижения требуемой производительности разрушения прочных грунтов 5–8 м³/ч энергооборуженность электротехнического комплекса должна иметь величину в пределах 500 кДж.

Установлено, что более эффективное рыхление производится при одновременной работе двух электродов и использовании двухканальной электродной системы. При производстве дноуглубительных работ на плавсредствах и на портовых гидротехнических сооружениях (причалах, молах, волнорезах) оборудование должно иметь корпус, защищающий их от атмосферных осадков и других загрязнений.

4. ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА

Для реализации технологического процесса и технических требований разработана и изготовлена электрогидроимпульсная установка (ЭГУ) "Базальт-К", предназначенная для разрушения прочных донных грунтов при проведении дноуглубительных работ и строительстве гидротехнических сооружений, а также при разрушении наземных негабаритов и строений.

Установка представляет собой мобильное устройство, которое можно транспортировать на автомобиле от одного объекта к другому и размещать как на плавсредствах, так и на портовых гидротехнических сооружениях (причалах, молах, волнорезах и т.п.). Оборудование размещено в корпусе, защищающем его от атмосферных осадков. Энергоемкость установки составляет от 60 до 500 кДж.

Промышленные испытания оборудования проводились при выполнении дноуглубительных работ на акватории бухты Камышовая на глубинах до 14 м.

5. ВЫВОДЫ

Впервые на акватории действующего предприятия (морского порта г. Севастополя) применен новый технологический процесс – электроразрядное рыхление донных грунтов как альтернатива взрывному способу ВВ, – обеспечивающий соблюдение норм техники безопасности и имеющий производительность до 5 м³/ч при разработке грунтов, прочностью свыше 20 МПа.

По технологическим показателям электроразрядный процесс может успешно использоваться при реконструкции морских, речных портов и других гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вовченко А. И., Посохов А. А.** Управляемые электровзрывные процессы преобразования энергии в конденсированных средах. – К.: Наук. думка, 1992. – 168 с.
2. **Вовк А. А., Черный Г. И., Кравец В. Г.** Действие взрыва в грунтах. – К.: Наук. думка, 1974. – 207 с.
3. **Кушнарев Д. М., Беликов М. П.** Взрывные работы в гидромелиоративном и сельском строительстве. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 223 с.

A. R. Rizun, U. V. Holen, T. D. Denisuk, V. A. Pozdeev. ROZROBKA I VPPOBADDJENNA TEXNOLOGIЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОГО РУЙНУВАННЯ МІЦНИХ ДОННИХ ГРУНТІВ.

Аноація: Розроблені технологічні режими і установлені енергетичні витрати, наведені схеми силової дії та дані про продуктивність електророзрядного руйнування міцних донних ґрунтів. Розроблено та виготовлено обладнання і впроваджено технологічний процес. Електророзрядне руйнування відповідає всім вимогам техніки безпеки і нормам продуктивності в умовах реконструкції діючих морських і річчних портів та інших споруд.

Ключові слова: електророзрядне руйнування, продуктивність, технологічні режими, зони руйнування.

A. R. Rizun, U. V. Holen, T. D. Denisuk, V. A. Pozdeev. DEVELOPMENT AND INTRODUCTION OF WORKFLOW OF SOLID GROUND DESTRUCTION BY THE DISCHARGE.

Abstract: Workflows are developed and energy consumption is established, circuits of power influence and efficiency destruction of solid ground by discharge are shown. The equipment is developed and made, the technological process is introduced. Destruction by the discharge satisfies the requirements of safety measures and productivity norms under conditions of reconstruction of operating sea and river ports and other constructions.

Keywords: destruction by the discharge, productivity, workflows, zones of destruction.

Надійшла до редакції 26.01.07
