

А.Р. Ризун, Ю.В. Голень, Т.Д. Денисюк

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ОЧИСТКА МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ ОТ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАСТАНИЯ*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43–А, г. Николаев, 54018, Украина, dpcd@ipt.com.ua*

Повышение добычи углеводного сырья на шельфе Черного моря является одним из приоритетных направлений нефтегазового комплекса Украины. При этом очень важно обеспечить безопасные условия функционирования морских стационарных платформ (МСП), с помощью которых ведутся нефтегазодобывающие работы на морском шельфе. Интенсивное биологическое обрастание подводной части МСП существенно влияет на их стойкость, безопасность проведения работ и требует периодической (от трех до четырех раз в год) очистки металлических конструкций. Существующие традиционные методы очистки не соответствуют всем требованиям по качеству, срокам и стоимости работ. Наиболее распространенный в использовании механический способ недостаточно продуктивный, имеет высокую стоимость и трудоемкость. К примеру, импортное оборудование типа «Brush-kart» или «Cavi-jet» стоимостью до 100–150 тыс. ам. дол. требует значительных затрат на проведение водолазных работ. Поэтому разработка и внедрение новых эффективных и безопасных технологий очистки металлических конструкций МСП от биологического обрастания являются актуальной задачей.

В качестве альтернативы механическому предложен электроразрядный способ как эффективный и безопасный метод очистки. Исследованиями установлено, что этот метод может обеспечить очистку металлических поверхностей с требуемой производительностью при незначительных энергетических затратах [1]. Однако для выполнения работ в среде с повышенной проводимостью (морской воде) необходимо либо подвести в зону разряда значительное количество пресной воды, либо стабилизировать разряд взрывающейся проволокой, диэлектрической нитью, магнитным полем. Это усложняет конструкцию технологических и электротехнических устройств и значительно повышает массогабаритные показатели оборудования, что неприемлемо для условий работы на МСП.

Способ очистки металлоконструкций МСП от биологического обрастания импульсным коронным разрядом (ИКР) позволяет производить обработку в среде с повышенной проводимостью, значительно упрощает конструкцию технологической и электротехнической частей оборудования и снижает их массогабаритные показатели. Способ имеет достаточно высокую перспективу и широкое внедрение не только на отечественном, но и на зарубежных рынках.

Внедрение технологического процесса электроразрядного способа очистки морских стационарных платформ от биологического обрастания на основе ИКР существенно уменьшает затраты по обеспечению условий безопасного функционирования объектов нефтегазового комплекса, благодаря которым ведут работы на морском шельфе, и увеличивает сроки их эксплуатации.

Использование коронного разряда основано на реализации генерируемых гидродинамических возмущений высокой интенсивности. Такая особенность присуща ИКР в сильных водных электролитах. Для последних характерно наличие короны в виде сплошного плазменного образования (СПО), формой которого можно управлять, а соответственно и формировать в жидкости поля давлений заданной конфигурации [2].

На рис. 1 показана схема моделирования электроразрядной системы ИКР.

Пространственная модель ИКР разделяется на следующие области: СПО, переходной слой плазма–жидкость и слой электролита представляется полусферическими слоями, ограниченными поверхностью острия, изолятором и заземленным электродом.

Для увеличения производительности можно использовать несколько электродных систем. Максимальное их количество n устанавливается по эмпирически полученному соотношению [2]:

$$n \leq \frac{\alpha}{\rho_e c_p} \frac{U_0^2 C}{r_{эл}^3}, \quad (1)$$

где α – температурный коэффициент электропроводности жидкости; U_0 – зарядное напряжение; C – емкость накопителя; ρ_e – плотность жидкости, c_p – теплоемкость; $r_{эл}$ – радиус закругления стержня электрода.

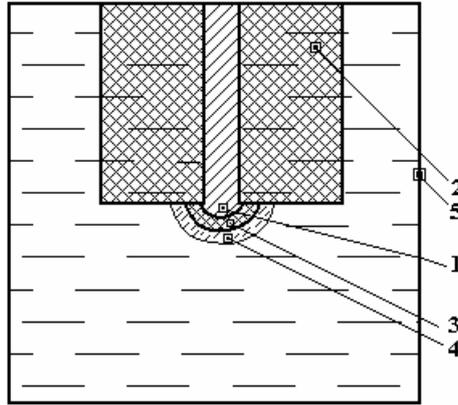


Рис. 1. Схема разрядной системы для моделирования СПО. 1 – полусферическое острие, на которое подается высоковольтный импульс; 2 – изолятор; 3 – СПО; 4 – переходной слой плазма-жидкость; 5 – заземленный электрод

Максимум мощности, которая будет выделяться в каждом из n электродов, определится равенством

$$N_{nam} = \frac{N_{am}}{n}, \quad (2)$$

где N_{am} – максимальная мощность разряда.

Максимальную мощность можно оценить из выражения [3]:

$$N_{am} = \frac{A_s(\gamma-1)U_0^2 C}{2\pi k L P_{am} a_m} \left(\frac{a_m}{r_{эл}} - 1 \right), \quad (3)$$

где $A_s = 105 \text{ В}^2 \cdot \text{с}/\text{м}^2$ – искровая постоянная; $\gamma = 1,26$ – показатель адиабаты; L – индуктивность разрядного контура; P_{am} – максимум давления на границе плазма-жидкость; a_m – радиус СПО к моменту достижения N_{am} ; k – коэффициент, определяемый режимом разряда, $k = e^{-2}$ – для критического разряда; $k = \left(\delta + \sqrt{\delta^2 - 1} \right)^{\frac{-2\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}}}$, где $\delta = \frac{1}{4\pi\sigma_0 r_{эл}} \sqrt{\frac{C}{L}}$ – для аperiodического разряда.

Аналитические зависимости для P_{am} и a_m представлены в виде

$$P_{am} = \left(\frac{0,021(\gamma-1)^2 A_s U_0^2 k \rho_0^2 v_{am} \sigma_0}{\left(\gamma + \frac{1}{3} \right) L^2 r_{эл} \left(1 + \frac{v_{am}}{c_0} \right)^2} \right)^{1/4}, \quad (4)$$

где v_{am} – скорость движения границ (СПО), для большинства режимов разряда к моменту достижения N_{am} соответствует 10^3 м/с [4]; σ_0 – электропроводность воды, См/м; c_0 – скорость звука в воде; ρ_0 – плотность воды.

Соответственно максимальный радиус каждого из СПО будет определяться как

$$a_{nm} = \left(\frac{5,3 \cdot 10^{-4} (\gamma-1)^2 A_s U_0^2 C^2 k \cdot \sigma_0 \left(1 + \frac{v_{am}}{c_0} \right)^2}{\left(\gamma + \frac{1}{3} \right) r_{эл} \rho_0^2 v_{am}^3} \right)^{1/4}. \quad (5)$$

Давление на фронте ударной волны от каждого из СПО определится как [5]:

$$P_m = \frac{P_{am}}{r}, \quad (6)$$

где r – расстояние до центра СПО.

Откуда

$$P_{nm} = \frac{(\gamma - 1)}{2\pi r} \left(\frac{26A_s W_0 k \sigma_0}{(\gamma + \frac{1}{3}) r_{эл} v_{ам} L n} \right)^{1/2}, \quad (7)$$

где $W_0 = \frac{CU_0^2}{2}$ – запасаемая энергия емкостью накопительного генератора.

Расчетные максимальные давления на фронте волны сжатия одноэлектродной системой с параметрами $W = 1,25$ кДж, $L=10$ мкГ, $\sigma_0=2,2$ См/м в зависимости от расстояния до центра СПО представлены на рис. 2.

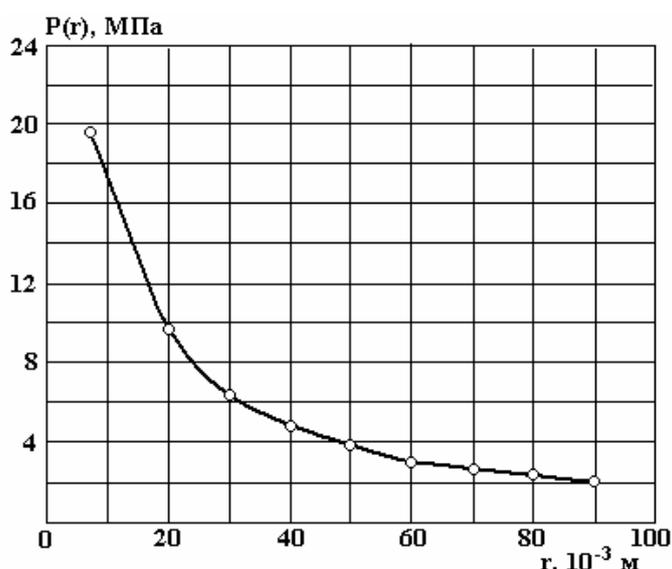


Рис. 2. Максимальные давления на фронте волны сжатия в зависимости от расстояния до центра СПО

Полученное давление на фронте волны сжатия с приведенными параметрами в данном случае обеспечивает разрушение биообрастания с прочностью $P > 2$ МПа.

Предложенная методика дает возможность определить необходимые параметры разрядного контура для получения необходимого уровня давления на фронте ударной волны с учетом прочности биообрастания, а также максимальное количество параллельных электродов для достижения планируемой производительности.

Расчеты позволяют значительно расширить возможность электроразрядной технологии очистки морских стационарных платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисюк Т.Д., Ризун А.Р., Голень Ю.В. Электроразрядная очистка поверхностей технологического оборудования от нежелательных неметаллических отложений // Электронная обработка материалов. 2007. № 6. С. 50–52.
2. Богуславский Л.З., Кучеренко В.В., Кривицкий Е.В. Динамика импульсного коронного разряда в водных электролитах. Николаев, 1993. 41 с. (Препринт НАН Украины, ИИПТ № 22).
3. Математическое моделирование коронного разряда в сильных водных электролитах / В.В. Шамко, Л.З. Богуславский // Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий. 2002. Вып. 4. С. 34–44.
4. Хайнацкий С.А., Шамко В.В., Богуславский Л.З. Определение скорости прорастания импульсной короны в сильных электролитах // Электронная обработка материалов. 2005. № 5. С. 42–47.

5. Теоретические основы инженерных расчетов энергетических гидродинамических параметров подводного искрового разряда / В.В. Шамко, В.В. Кучеренко. Николаев, 1991. 51 с. Препринт НАН Украины, ИИПТ № 18.

Поступила 06.06.08

Summary

Motivated use the pulsed crown category in sea water for destruction biological overgrowing, are installed the most efficient schemes and parameters electro discharge processing. Introduction electro discharge to technologies will allow greatly to reduce the expenses of the facilities on repair functioning(working) the sea stationary platforms, in 2-3 times shorten the expenses to energy and periods of the execution repair and preventive work.
