

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ БУКСИРУЕМОЙ КАБЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ РАДИОАНТЕННЫ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

И. А. ЖАРИКОВ, В. А. ПАХОТИН

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
(г. Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: zharikov.igor2015@yandex.ru

Аннотация. Разработана методика совершенствования конструкции буксируемой кабельной электродной антенны, которая применяется для приема сигналов диапазона крайне низких частот (КНЧ) погруженными объектами. Предлагается использовать на электродах диэлектрическую оболочку, содержащую микроканалы, обеспечивающие гальванический контакт электродов с морской водой. Применение оболочки с микроканалами обеспечивает снижение уровня собственного шума антенны при ее буксировании.

Abstract. A method has been developed for improving the design of a towed cable electrode antenna, which is used to receive signals in the extremely low frequency (ELF) range by submerged objects. It is proposed to use a dielectric shell on the electrodes, containing microchannels that provide galvanic contact of the electrodes with sea water. The use of a shell with microchannels ensures a decrease in the level of the antenna's own noise during towing.

Основная часть

В настоящее время связь с морскими подвижными объектами на рабочих глубинах ограничивается из-за известной зависимости глубины проникновения электромагнитных волн в воду от частоты [1,2]. Одним из возможных вариантов решения указанной проблемы является применение буксируемых кабельных электродных радиоантенн диапазона КНЧ (< 30 Гц). Подобные антенны содержат металлические электроды, предназначенные для обеспечения гальванического контакта с морской водой. Вследствие значительного поглощения радиосигналов, напряжение полезного сигнала составляет единицы-десятки нановольт. Качество связи в диапазоне КНЧ снижается вследствие наличия собственных шумов антенны, которые возникают из-за колебаний антенны в геомагнитном поле Земли, а также из-за воздействия турбулентных пульсаций давления потока морской воды на поверхность электродов антенны [1]. Наибольший вклад в снижение качества полезного сигнала вносит электродный шум.

На границе электрода с водой образуется двойной электрический слой [3], и из-за разности электрохимических потенциалов материала электрода и воды возникает контактная разность потенциалов $\Delta\mu$, заряжающая емкость двойного слоя. При буксировке антенны на ее поверхность действуют пульсации турбулентного давления, которые приводят к изменению емкости двойного слоя на электродах и соответствующей перезарядке емкости, вызывающей шумовой ток в электрической цепи антенны. Под действием пульсаций давления слегка изменяется плотность воды, от которой зависит диэлектрическая проницаемость воды ε . Поскольку емкость двойного слоя приблизительно пропорциональна ε , а напряжение на этой емкости также пропорционально ε , то изменение напряжения будет пропорционально $\Delta\varepsilon$ и $\Delta\mu$, где $\Delta\varepsilon$ – изменение ε .

Необходимо предохранить двойной слой от воздействия турбулентных пульсаций. Предлагается конструкция электрода буксируемой антенны, в котором гальванический контакт провода антенны с водой осуществляется через микроканалы в диэлектрическом покрытии электрода. Микроканалы характеризуются большим гидродинамическим сопротивлением [4] и поэтому снижают влияние турбулентных пульсаций давления потока обтекания на уровень сигнала (рис. 1). Эффективность действия микроканала определяется коэффициентом изменения пульсаций турбулентного давления в микроканале

$$K_0 = e^{\left(-\frac{4\mu L}{r^2 \rho c}\right)}, \quad (1)$$

где r – радиус, L – длина канала, μ – коэффициент вязкости морской воды, ρ – плотность морской воды, c – скорость звука в воде. Микроканалы имеют форму прямолинейного кругового цилиндра, расположены под углом θ к продольной оси электрода для увеличения длины микроканала, количество микроканалов N определяется по формуле

$$N = \frac{\rho D c}{4 \mu R \pi \sigma} \ln K_0, \quad (2)$$

где, D – отношение активного электрического сопротивления антенны к общему сопротивлению микроканалов, R – активное сопротивление проводов антенны, σ – проводимость морской воды, Радиус микроканалов определяется выражением

$$r = \sqrt{\frac{S_e}{N \pi p_s}}, \quad (3)$$

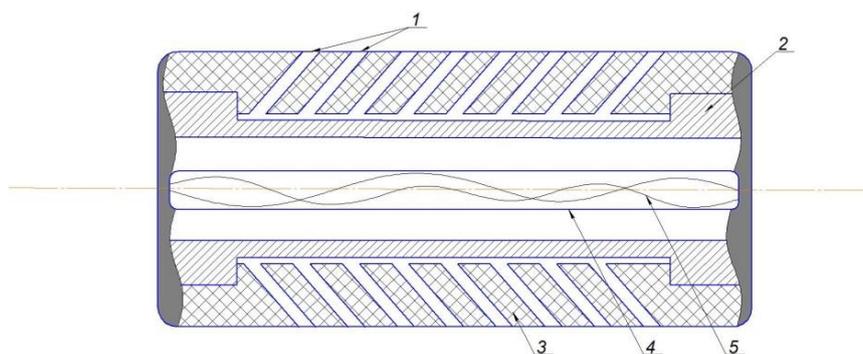


Рис.1. Конструкция электрода буксируемой кабельной электродной антенны крайне низких частот, 1 – микроканалы, 2 – цилиндрический электрод, 3 – диэлектрическая оболочка, 4 – грузонесущие полимерные нити, 5 – электрические проводники.

где S_e – площадь поверхности электрода, p_s – отношение площади электрода к общей площади всех микроканалов. Длина микроканала L определяется с помощью выражения

$$L = \frac{\sigma \rho r}{4 \mu} \ln K_0, \quad (4)$$

угол наклона микроканала определяется формулой

$$\theta = \arcsin\left(\frac{h}{L}\right), \quad (5)$$

h – толщина диэлектрической оболочки (высота микроканала). Покрытие с микроканалами можно изготовить, в частности, по технологии изготовления микроканальных пластин, используемых для усиления электронных потоков. Турбулентное давление на поверхности кабеля определяется характерными масштабами турбулентности. Для расчетов использовался спектр мощности давления Виллмарта [5]. С целью минимизации ошибки спектральная плотность турбулентного давления умножалась на отношение квадрата масштаба к общей площади поверхности приемника (электрода) до тех пор, пока это отношение не достигало единицы. В узкой полосе частот средний квадрат турбулентных пульсаций давления будет пропорционален корню квадратному из истинного спектра мощности турбулентного давления. По предварительным оценкам напряжения электродного шума на входе приемника в полосе частот 1 Гц при плотности микроканалов 20 1/мм, скорости буксировки 10 узлов возможно снижение уровня шума в три раза, что позволяет существенно повысить качество радиосвязи. Разработанная методика совершенствования позволит производить разработку, проектирование и изготовление буксируемых кабельных электродных радиоантенн крайне низких частот для обеспечения качественного приема сигналов погруженными объектами.

Список использованных источников

1. Пахотин В.А. Основные научные и научно-технические проблемы обеспечения связи с глубоководными объектами. В книге: Стратегическая стабильность России на море. М.: Торус-Пресс, 2020. С. 89-109.
2. Бернштейн С.Л. и др. Дальняя связь на низких частотах, ТИИЭР, 1974, т. 62, № 3, стр. 5-30.
3. Салем Р.Р. Теоретическая электрохимия. М.: Вузовская книга, 2001. – 328 с.
4. С.Н. Ржевкин. Курс лекций по теории звука. М.: МГУ, 1960, 337с.
5. Миниович И.Я. Гидродинамические источники звука. Л.: Судостроение, 1972.